

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

О. Н. Жаркова

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Учебно-методический комплекс
для студентов специальности 1-36 07 01
«Машины и аппараты химических производств
и предприятий строительных материалов»

Новополоцк
ПГУ
2010

УДК 620.9.004.18:65.01(075.8)
ББК 31.19я73
Ж34

Рекомендовано к изданию
методической комиссией технологического факультета
в качестве учебно-методического комплекса
(протокол № 9 от 13.05.2010)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. Б. ХАЛИЛ,
канд. техн. наук, зав. кафедрой химической техники УО «ПГУ»;
С. А. ПОДГОЛ,
канд. техн. наук, начальник сектора центральной лаборатории
ОАО «Нафтан» завод «Полимир»

Жаркова, О. Н.

Ж34 Энергосбережение и энергетический менеджмент : учеб.-метод. комплекс для студентов спец. 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / О. Н. Жаркова. – Новополоцк : ПГУ, 2010. – 248 с.
ISBN 978-985-531-097-7.

Включает рабочую программу курса, конспект лекций, контрольные вопросы по разделам курса, методические указания к практическим занятиям, примерные вопросы к экзамену, список литературы.

Предназначен для студентов химико-технологических специальностей вузов. Может быть полезен научным работникам, аспирантам, специалистам предприятий, занимающимся вопросами энергосбережения.

УДК 620.9.004.18:65.01(075.8)
ББК 31.19я73

ISBN 978-985-531-097-7

© Жаркова О. Н., 2010
© УО «Полоцкий государственный университет», 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Содержание курса «Энергосбережение и энергетический менеджмент»	4
ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС	
Введение	11
Тема 1. Топливо-энергетические ресурсы	23
1.1. Первичные источники энергии и их классификация	23
1.2. Органическое топливо	25
Тема 2. Производство энергии традиционными методами	30
2.1. Производство теплоты	30
2.2. Производство электрической энергии	38
2.3. Графики электрических и тепловых нагрузок	45
Тема 3. Производство энергии на основе возобновляемых источников	50
3.1. Потенциал возобновляемых источников энергии	50
3.2. Биоэнергетика	51
3.3. Малая гидроэнергетика	56
3.4. Ветроэнергетика	59
3.5. Гелиоэнергетика	62
3.6. Другие виды нетрадиционной энергетики	67
3.7. Общая оценка	68
3.8. Аккумуляция энергии	69
Тема 4. Транспортировка энергии	73
4.1. Транспортировка первичных энергоресурсов	74
4.2. Транспортировка теплоты	76
4.3. Транспортировка электрической энергии	79
Тема 5. Вторичные энергетические ресурсы	82
5.1. Классификация энергетических отходов	82
5.2. Выход ВЭР и экономия топлива за счет их использования	83
5.3. Горючие ВЭР	85
5.4. Тепловые ВЭР	87
5.5. ВЭР избыточного давления	94
5.6. Трансформаторы тепла	95
Тема 6. Эффективное использование электроэнергии	101
6.1. Искусственное освещение	101
6.2. Электропривод	103
6.3. Электротермические установки	105
6.4. Использование электроэнергии в быту	106
Тема 7. Энергосбережение в зданиях и сооружениях	109
7.1. Тепловой режим зданий	109
7.2. Приближенный метод расчета потерь тепла	110
7.3. Утепление зданий	111
7.4. Регулирование теплотребления в зданиях	115
7.5. Дома с ограниченным энергопотреблением и энергонезависимые дома	116
Тема 8. Экологические аспекты энергосбережения	119
Тема 9. Учет и регулирование потребления энергоресурсов	126
9.1. Учет потребления энергоресурсов	126
9.2. Регулирование потребления энергии	134

Тема 10. Управление энергоснабжением и энергопотреблением на промышленном предприятии	138
10.1. Энергетическое хозяйство предприятий	138
10.2. Общие принципы организации энергетического менеджмента на предприятии	140
10.3. Энергетический аудит	141
10.4. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов	148
Тема 11. Инвестиционная деятельность в области энергосбережения	157
11.1. Типы инвестиционных проектов	157
11.2. Риски инвестиционных проектов	158
11.3. Анализ проектных рисков	160
11.4. Способы снижения инвестиционных рисков	161
11.5. Схемы финансирования проектов	162
11.6. Методы проектного анализа	165
11.7. Методы оценки инвестиционных проектов	169
11.8. Источники финансирования энергоэффективных проектов	173
Тема 12. Нормативно-правовая база энергосбережения	178
Тема 13. Информационная деятельность в области энергосбережения	185
Тема 14. Зарубежный опыт в области энергосбережения	189
14.1. Опыт энергосберегающей политики в США	190
14.2. Энергосбережение в промышленности Японии	191
14.3. Повышение эффективности использования энергии в промышленности Дании	192
14.4. Общие мероприятия энергосбережения в странах Западной Европы	193
14.5. Законодательный опыт Российской Федерации в области энергосбережения	194
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ	
Практическое занятие № 1	
Традиционные способы получения энергии	196
Практическое занятие № 2	
Изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию	196
Практическое занятие № 3	
Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую	203
Практическое занятие № 4	
Изучение потерь энергии при транспортировании жидкостей и газов по трубопроводу	210
Практическое занятие № 5	
Исследование работы теплового насоса	215
Практическое занятие № 6	
Расчет энергетической и экономической эффективности применения тепловых насосов	224
Практическое занятие № 7	
Исследование сравнительных характеристик электрических источников света	231
Практическое занятие № 8	
Расчет экономии электроэнергии в осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита	236
Примерные вопросы к экзамену	245
Литература	247

ВВЕДЕНИЕ

Республика Беларусь относится к числу стран, имеющих относительно малые запасы топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Поэтому их эффективное и рациональное использование является одним из важнейших условий развития экономики республики.

Дисциплина «Энергосбережение и энергетический менеджмент» включает основы технических, экономических и правовых методов управления энергопотреблением.

Основная цель курса – развитие у студентов психологии энергосбережения, усвоение ими закономерностей энергетических процессов и технологий, технических и организационных методов, экономических и правовых понятий, способствующих рациональному и экономному использованию топливно-энергетических ресурсов.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- иметь представление об энергетических ресурсах Беларуси, энергоснабжении предприятий, традиционной и нетрадиционной энергетике, о принципах эффективного использования первичной и преобразованной энергии, об энергетическом аудите и принципах организации энергетического менеджмента на предприятии, о законодательстве и нормативных актах в области энергосбережения;
- знать элементы учета и контроля потребления энергии, возможности энергетического менеджмента и элементы анализа инвестиций в энергосбережение;
- уметь использовать тепловую и электрическую энергию с минимальными потерями, иметь опыт анализа энергетических и материальных балансов при производстве, передаче и потреблении энергии, работы на ЭВМ с прикладными программами по проблеме энергосбережения, оценки эффективности инвестиций в энергосбережении.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Энергосбережение и энергетический менеджмент» включает рабочую программу курса, конспект лекций, контрольные вопросы по разделам курса, методические указания к практическим занятиям, примерные вопросы к экзамену, список литературы.

Содержание курса «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ»

Введение

Основные понятия из области энергетики: энергия, источники энергии, энергетический ресурс, преобразование энергии, энергетическая цепочка, окружающая среда. Энергетические ресурсы мира и Беларуси и их потребление. Роль энергии в жизни общества.

Понятие об энергосбережении. Виды деятельности и методы в области энергосбережения: научно-технические, организационные, экономические, нормативно-технические, информационные, правовые. Конечная цель энергосбережения – эффективное использование энергетических ресурсов. Прямые и косвенные, пассивные и активные методы энергосбережения.

Энергетический менеджмент. Энергосбережение в Беларуси. Государственная программа «Энергосбережение» Республики Беларусь.

Топливо-энергетические ресурсы

Первичные источники энергии и их классификация. Органическое топливо. Характеристики органического топлива: состав, высшая и низшая теплота сгорания, летучие компоненты. Повышение эффективности использования топлива при его термической переработке. Коэффициент избытка воздуха. Условное топливо.

Производство энергии традиционными методами

Топки для сжигания топлива: камерные, слоевые. Принципы выбора и эксплуатации топочных устройств, повышающих эффективность использования первичной энергии. Тепловой баланс и энергетические характеристики топок.

Промышленные печи и котельные установки. Газотурбинные и парогазовые установки.

Эффективность использования первичной энергии на тепловых электростанциях (ТЭС) и теплоэлектроцентралях (ТЭЦ). Преимущество комбинированной выработки энергии.

Принципы производства энергии на атомных электростанциях и атомных станциях теплоснабжения.

Графики электрических и тепловых нагрузок.

Производство энергии на основе возобновляемых источников

Особенности возобновляемых источников энергии и перспективы их использования в Беларуси.

Биоэнергетика. Биомасса как основа биоэнергетики. Роль фотосинтеза в производстве биомассы. Энергетические способы переработки биомассы: термохимические, биохимические, агрохимические.

Малая гидроэнергетика. Параметры, характеризующие потенциал гидроэнергоресурсов. Схема преобразования гидроэнергии. Принципы работы активных и реактивных гидротурбин. Гидроаккумуляторы.

Ветроэнергетика. Преобразование энергии ветра в механическую работу. Принципы действия ветроагрегатов на основе использования подъемной силы ветрового потока и силы сопротивления. Методы расчета ветроэнергетического потенциала.

Гелиоэнергетика. Параметры, характеризующие потенциал солнечной энергии. Направления использования солнечной энергии. Плоские солнечные коллекторы и технологические схемы горячего водоснабжения и отопления. Активные и пассивные системы отопления. Термодинамический способ преобразования энергии, параболический и сферический солнечные концентраторы. Фотоэлектрический способ преобразования солнечной энергии.

Другие виды возобновляемых источников энергии. Термальные воды. Приливы.

Роль аккумулирования энергии при использовании возобновляемых источников энергии. Классификация аккумуляторов. Химические и физические принципы аккумулирования энергии. Комбинированное использование возобновляемых источников энергии.

Транспортировка энергии

Транспортировка первичных энергоресурсов. Региональные и локальные транспортные сети. Затраты энергии на транспортировку энергоносителей и пути их снижения.

Транспортировка теплоты: системы теплоснабжения, тепловые сети, теплопроводы. Пути уменьшения потерь тепла при транспортировке теплоносителей.

Транспортировка электрической энергии. Электрические сети. Составляющие потерь энергии в электрических сетях. Альтернативные способы снижения потерь: повышение напряжения переменного тока, использование постоянного тока и сверхпроводников.

Вторичные энергетические ресурсы

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР): горючие, тепловые и избыточного давления. Направления использования ВЭР: топливное, тепловое, силовое. Количественное определение выхода ВЭР. Экономия топлива за счет использования ВЭР. Оборудование для утилизации ВЭР.

Трансформаторы тепла. Примеры использования тепловых насосов.

Эффективное использование электрической энергии

Виды потерь при потреблении электрической энергии. Повышение эффективности использования электрической энергии электроприводами центробежных механизмов, в системах освещения и электротермических установках, бытовыми приборами.

Энергосбережение в зданиях и сооружениях

Здания – потребители энергии. Конструктивные элементы и инженерные системы зданий, влияющие на потребление энергии. Потери тепла в зданиях за счет теплопередачи и воздухообмена. Утепление наружных стеновых ограждающих поверхностей. Преимущества наружного утепления стен. Пути снижения потерь тепла через окна, дверные и технологические проемы. Модернизация существующих систем отопления зданий.

Методы автоматизированного регулирования потребления тепла. Пофасадное регулирование отпуска тепла. Индивидуальное регулирование отопительных приборов.

Проекты энергоэффективных зданий с минимальным потреблением энергии.

Экологические аспекты энергосбережения

Энергетика и окружающая среда. Механизм влияния объектов традиционной энергетики на окружающую среду: парниковый эффект и разрушение озонового слоя. Влияние возобновляемых источников энергии на окружающую среду. Связь энергосбережения и экологии. Пути улучшения экологической обстановки методами энергосбережения.

Учет и регулирование потребления энергоресурсов

Учет и регулирование потребления энергоресурсов – основа энергосбережения. Виды энергоресурсов подлежащих учету: топливо, теплота и

электроэнергия. Методы измерения количества потребляемого топлива. Учет теплоты. Измерение температур и расхода теплоносителя. Принципы регистрации тепла теплосчетчиками. Электрические счетчики. Преимущества электронных счетчиков электроэнергии. Ваттметры. Приборы и методы анализа эффективности использования энергии: инфракрасные пирометры и тепловизоры, газоанализаторы состава дымовых газов.

Управление энергоснабжением и энергопотреблением на предприятии

Структура и задачи системы энергоснабжения предприятий. Технологические и вспомогательные потребители энергии. Поток энергоресурсов на предприятии. Иерархические уровни систем энергоснабжения и энергопотребления предприятий.

Цель и задачи энергетического менеджмента на предприятии. Функции менеджмента: планирование, организация, мотивация, контроль и координация

Цель энергетического аудита и задачи, решаемые с его помощью. Этапы энергетического аудита. Знакомство с энергетическим хозяйством предприятия. Составление карты (технических паспортов) потребления энергии. Анализ ретроспективных и текущих данных по энергопотреблению. Составление энергетических и материальных балансов. Разработка и обоснование энергетической и экономической эффективности мероприятий по экономии энергии. Составление отчета с перечнем мероприятий по экономии энергии. Сопровождение внедрения утвержденных мероприятий. Цикличность энергетического аудита. Помощь во внедрении энергетического менеджмента на предприятии.

ТЭР, подлежащие нормированию. Классификация норм расхода ТЭР: масштабу применения, по составу расходов, по времени действия. Примерный состав норм расхода ТЭР. Методы разработки норм расхода ТЭР: расчетно-аналитический, опытный, расчетно-статистический, отчетно-статистический. Данные, необходимые для разработки норм расхода ТЭР. Примеры расчета норм расхода ТЭР. Нормирование и эффективность использования энергоресурсов.

Инвестиционная деятельность в области энергосбережения.

Типы инвестиционных проектов. Проектные риски. Схемы финансирования проектов. Показатели эффективности инвестиционных проектов. Формы финансирования энергосберегающих проектов. Источники инвестиций в энергосбережение. Интегрированный анализ инвестиционных

проектов (технический, экономический, социальный, экологический). Роль экономического анализа в принятии решений.

Потоки денежных средств. Временная стоимость денег и ее учет на основе процесса дисконтирования. Критерии оценки эффективности инвестиционных проектов: срок окупаемости, учетная норма прибыли, чистая текущая ценность (чистый дисконтированный доход), внутренняя норма рентабельности (прибыли), индекс рентабельности. Инвестиционные проекты в условиях риска.

Нормативно-правовая база энергосбережения

Виды правовых и нормативно-технических документов по энергосбережению. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении». Структура закона. Основные положения закона: о международном сотрудничестве, государственном управлении и регулировании, государственной экспертизе, стандартизации и нормировании, поощрении за экономию ТЭР и наказании за расточительство, формировании и использовании финансовых средств, равноправии субъектов в сфере энергосбережения, об информационной деятельности.

Информационная деятельность в области энергосбережения

Понятие об информации. Направления информационной деятельности в области энергосбережения: использование средств массовой информации и современных информационных технологий, образовательные программы всех уровней от домовладельцев до специалистов, консультации. Носители информации. Технические средства накопления, хранения, обработки и доступа к информации. Информационные системы в области энергосбережения. Энергосбережение и Интернет.

Зарубежный опыт в области энергосбережения

Общие подходы в области стимулирования энергосбережения за рубежом. Методы стимулирования энергосбережения в странах Западной Европы и Японии.

ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

ВВЕДЕНИЕ

Энергия – способность тела или системы тел совершать работу.

Энергию в зависимости от природы делят на следующие виды.

Механическая энергия проявляется при взаимодействии, движении отдельных тел или частиц (например, энергия движения или вращения тела, энергия деформации при сгибании, растяжении и т.п.).

Тепловая энергия – энергия неупорядоченного движения и взаимодействия молекул веществ (получается при сжигании топлива).

Электрическая энергия – энергия движущихся по электрической цепи электронов.

Химическая энергия – энергия, «запасенная» в атомах веществ, которая высвобождается или поглощается при химических реакциях между веществами.

Электромагнитная энергия – энергия электромагнитных волн, т.е. движущихся электрического и магнитного полей. Она включает: видимый свет, инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские лучи и радиоволны.

Ядерная энергия – энергия, локализованная в ядрах атомов так называемых радиоактивных веществ. Она высвобождается при делении тяжелых ядер (ядерная реакция) или синтезе легких ядер (термоядерная реакция).

Гравитационная энергия – энергия, обусловленная взаимодействием (тяготением) массивных тел, она особенно ощутима в космическом пространстве. В земных условиях это, например, энергия, «запасенная» телом, поднятым на определенную высоту над поверхностью Земли, – энергия силы тяжести.

Таким образом, в зависимости от уровня проявления, можно выделить:

- энергию макромира – гравитационную;
- энергию взаимодействия тел – механическую;
- энергию молекулярных взаимодействий – тепловую;
- энергию атомных взаимодействий – химическую;
- энергию излучения – электромагнитную;
- энергию, заключенную в ядрах атомов – ядерную.

Закон сохранения энергии: энергия не может быть уничтожена или получена из ничего, она может лишь переходить из одного вида в другой.

Источники энергии делятся на невозобновляемые (истощаемые) и возобновляемые (неистощаемые).

Невозобновляемые источники энергии – это природные запасы вещества и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. К ним относятся ископаемые топлива и продукты их переработки: каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть, природный и попутный газ.

Возобновляемые источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии: Солнца, ветра, тепла Земли, морей и океанов, рек, биомассы (растений и животных).

Энергетические ресурсы – материальные объекты, в которых сосредоточена энергия, пригодная для практического использования человеком. В настоящее время основными потребляемыми энергетическими ресурсами являются природные топлива и энергия потоков воды, которые представляют собой не что иное, как преобразованную энергию Солнца.

Энергетические ресурсы подразделяют на первичные и вторичные.

Первичный энергоресурс – энергоресурс, который не был подвергнут какой-либо переработке.

Вторичный энергоресурс – энергоресурс, получаемый в виде побочного продукта основного производства.

Беларусь обладает как первичными (невозобновляемыми и возобновляемыми), так и вторичными энергоресурсами. В настоящее время из собственных энергоресурсов наиболее широко используются торф, нефть, попутный газ, дрова, энергия рек. Разведаны запасы горючих сланцев, бурого угля.

Топливо-энергетический комплекс страны, который охватывает получение, передачу, преобразование и использование различных видов энергии и энергетических ресурсов, называется **энергетикой**.

Энергетика делится на традиционную и нетрадиционную.

Традиционная энергетика базируется на использовании ископаемого горючего или ядерного топлива и энергии воды крупных рек (рис. В.1). Она подразделяется на теплоэнергетику, электроэнергетику, ядерную энергетику и гидроэнергетику.

Нетрадиционная энергетика включает возобновляемые источники энергии (энергию Солнца, Земли, планетарного движения) и ВЭР.

Энергетические цепочки включают преобразование энергии в различные виды от источника до конечного потребления.

Источником энергии (рис. В.2) является окружающая среда. Растительная и животная жизнь образует цикл, который начинается с солнечного света, воды и углекислого газа и заканчивается водой, углекислым газом, теплом и механической энергией животных и человека.

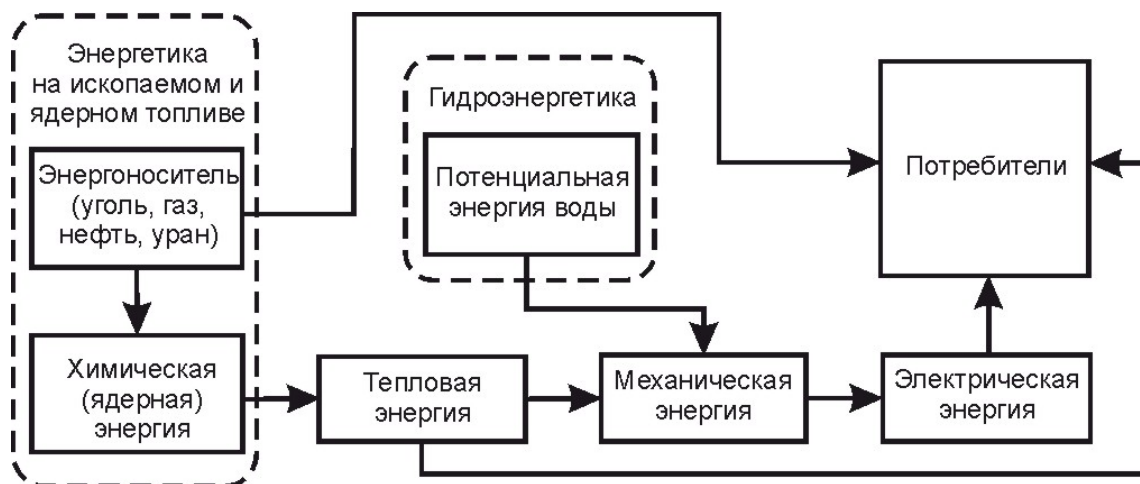


Рис. В.1. Энергетическая цепочка, основанная на традиционной энергетике

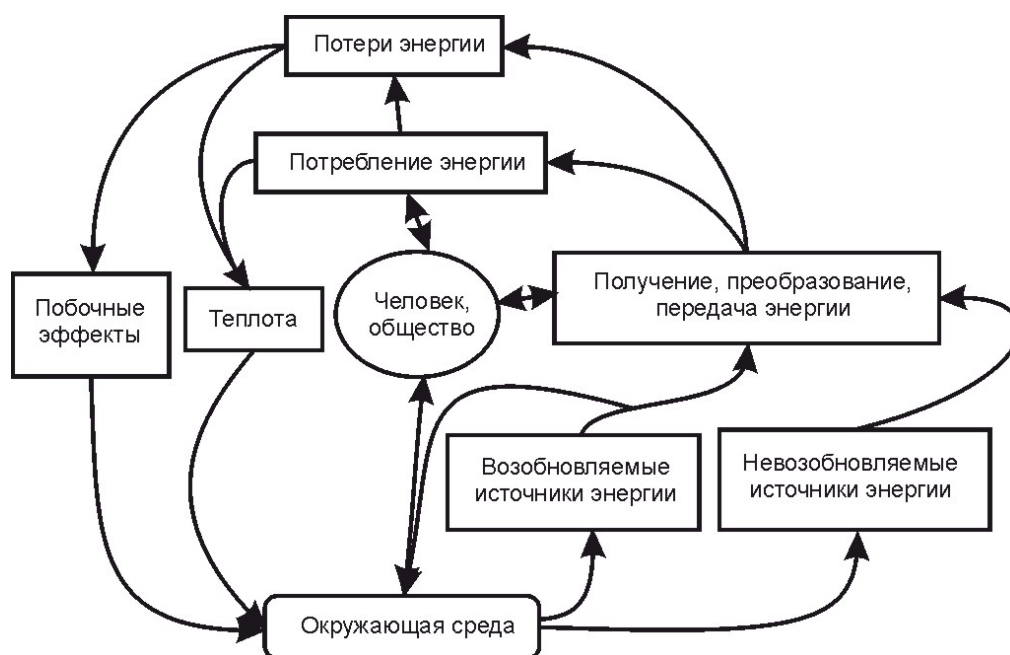


Рис. В.2. Взаимосвязь человека, энергетики и окружающей среды

На каждой стадии производства, передачи и потребления энергии имеются ее потери в виде теплоты, рассеивающейся обратно в окружающую среду.

Решение вопросов уменьшения потерь энергии и ее эффективного использования на всех стадиях составляет сущность энергосбережения.

Энергосбережение – организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода топливно-энергетических ресурсов в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.

Современное энергосбережение базируется на **трех основных принципах**:

1) не столько жесткая экономия энергии, сколько ее рациональное использование, включая поиск и разработку новых нетрадиционных источников энергии;

2) повсеместное использование как бытовых, так и промышленных приборов учета и регулирования расхода электрической и тепловой энергии;

3) внедрение новейших технологий, способствующих сокращению энергоемкости производства.

Исходя из этого, в энергосбережении выделяют следующие **группы мероприятий**, обеспечивающие рациональное использование топливно-энергетических ресурсов.

1) **научно-технические** мероприятия направлены на разработку и использование в производстве новых способов и устройств, отличающихся высокой энергоэффективностью;

2) **организационные**, подразделяющиеся на организационно-массовые и организационно-технические.

Организационно-массовые мероприятия осуществляются на предприятиях. Основное назначение организационно-массовой работы – доведение до всех членов трудового коллектива государственной важности экономного и бережного использования топлива и энергии, недопущения их потерь на всех участках производства, вовлечение в работу по экономии каждого работника предприятия, премирование персонала за экономию и принятие строгих мер к расточителям топлива, тепловой и электрической энергии.

Организационно-технические мероприятия (ОТМ) по экономии топлива, тепловой и электрической энергии разрабатываются на всех уровнях управления и группируются по основным направлениям экономии применительно к производству продукции:

- совершенствование технологии производства;
- улучшение использования топлива и энергии в производстве;
- повышение качества сырья и применение менее энергоемких его видов.

Планы ОТМ делятся на основные и дополнительные.

Основной план мероприятий разрабатывается в предшествующий планируемому периоду год, дополнительный – в течение текущего года. Цель основного плана – снизить удельные нормы расхода энергии на величину, установленную директивными указаниями вышестоящих организаций. Цель дополнительного плана – обеспечить выполнение заданий по получению дополнительной экономии энергии;

3) **экономические меры** по эффективному энергоиспользованию включают в себя систему гибких цен на энергоносители и универсальные тарифы, налоговую политику и меры материального стимулирования экономического энергопотребления;

4) **нормативно-технические** мероприятия – создание стандартов и других нормативно-технических и руководящих документов по обеспечению эффективного энергоиспользования;

5) **информационные** мероприятия – проведение информационно-технических семинаров, выставок, конференций, симпозиумов по данной тематике, а также информирование населения через средства массовой информации об основных действиях по рациональному использованию энергии на производстве и в быту;

б) все вышеотмеченные мероприятия по энергосбережению должны быть подкреплены соответствующей **правовой базой**.

Конечная цель энергосбережения – **эффективное использование энергии**, т.е. достижение экономически и социально оправданного уменьшения использования энергетических ресурсов на единицу продукции или услуг при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении требований к охране окружающей природной среды.

Экономия энергии может достигаться пассивными и активными методами.

К **пассивным методам**, например, относится использование теплоизоляции для уменьшения потерь тепла в окружающую среду путем применения материалов и конструкций с малой теплопроводностью и теплопередачей.

Активная экономия энергии достигается с помощью регулирования отпуска тепла на отопление и кондиционирование воздуха и регулирования нагрузки потребительских установок. Активная экономия энергии также включает утилизацию вторичных энергоресурсов, использование вторичного сырья с помощью дополнительного оборудования. Экономия энергии может также достигаться за счет организационных изменений и внедрения новых систем, например, путем замещения установок, процессов, продук-

ции или услуг, требующих меньше энергии для работы или изготовления продукции, чем применявшиеся ранее, без ухудшения качественных характеристик производимых изделий или услуг. Кроме того, может проводиться замещение применяющегося энергоносителя другим с достижением экономической выгоды без ущерба для выпуска конечной продукции.

Конечный результат экономии энергии может быть прямым и косвенным.

Прямые методы энергосбережения непосредственно связаны с экономией энергетических ресурсов при производстве, преобразовании и транспортировке энергии.

Косвенные методы энергосбережения связаны с экономией материальных неэнергетических ресурсов при их добыче, переработке и эксплуатации. Косвенное энергосбережение связано с уменьшением материалоемкости выпускаемой продукции, повышением надежности и качества, prolongation срока службы изделий.

Во всех случаях экономия энергии имеет смысл, если при использовании любого метода или принципа, направленного на ее экономию, влияние на окружающую среду минимально, человек не испытывает неудобств и за счет эффективного использования энергии получена прибыль.

Структура мирового потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР)

При планировании национальной энергетики необходимо учитывать, с одной стороны, мировые тенденции в потреблении ТЭР, с другой – наличие собственных первичных энергоресурсов и особенности национальной экономики.

Длительный период, до XIV в., основным энергоносителем, используемым человеком, была древесина. Позже начинают все больше использовать уголь, нефть и газ. В начале XX в. уголь стал составлять наибольшую долю от всех используемых человечеством энергетических ресурсов. К началу 70-х годов XX в. доли потребления угля, нефти и газа выравниваются. В ряде стран уменьшается добыча угля. Нефть практически вытесняет уголь при производстве электроэнергии. В 1970 г. доля нефти в структуре мирового потребления ТЭР составляла 46 %, газа – 20 %. Ситуация меняется после острого нефтяного кризиса 1973 – 74 гг. Индустриальные страны Запада, США, Япония активно переориентируют топливно-энергетическую базу своей национальной экономики на другие виды энергоресурсов и вводят политику эффективного использования энергии. В результате к 1980 г. доля нефти в мировом топливно-энергетическом балансе

снижается до 42 %, газа – до 16 %. Доля твердого органического топлива составляла 25 %. Ядерная энергетика покрывала всего 2 – 3 % мирового потребления, и 13 – 14 % обеспечивалось за счет возобновляемых источников энергии.

Прогнозы, сделанные в 80-х годах, обещали к 2020 г. дальнейшее быстрое уменьшение потребления нефти и газа – соответственно до 20 % и 8 – 12 %. Предполагалось, что это будет достигнуто благодаря росту потребления угля до 32 %, значительному вовлечению в топливно-энергетический баланс ядерного горючего – 36 – 40 %, использованию возобновляемых источников энергии. Однако реальные тенденции изменений в структуре мирового топливно-энергетического баланса на 2020 г. оказались несколько иными. По прогнозам 90-х годов, доля твердого органического топлива, прежде всего угля, будет, как и предполагалось в 80-х годах, составлять 32 %, а вот доля потребления нефти снизится на меньшую величину, чем ожидалось ранее, и будет составлять 27 %. Доля газа даже увеличится по сравнению с уровнем 1980 г. и будет равна 23 %. Такие изменения тенденций связаны в первую очередь с появлением определенного недоверия к атомной энергетике из-за катастрофических последствий аварии на Чернобыльской АЭС и ряде других неприятных эксцессов на атомных промышленных объектах. Кроме того, успехи применения энергосберегающих мероприятий и технологий в 80 – 90-х годах, обещающие разработки в области производства электроэнергии на базе газотурбинных, парогазовых установок, новые интеграционные процессы международного взаимодействия в области энергетики и экологии привели к наблюдающимся сегодня тенденциям в структуре мирового потребления ТЭР. Согласно им, доля ядерного топлива к 2020 г. будет составлять всего 5 – 6 %. На долю энергосбережения и возобновляемых источников придется 12 – 14 %, причем из них 9 – 10 % будет покрываться за счет энергосбережения.

В обозримой перспективе развитие топливной базы энергетики во всем мире будет определяться следующими основными направлениями:

- 1) удорожанием практически всех ТЭР при опережающем росте стоимости высококачественного газомазутного топлива;
- 2) проведением активной энергосберегающей политики во всех отраслях экономики и освоением в максимально возможных масштабах нетрадиционных возобновляемых источников энергии;
- 3) вовлечением в топливно-энергетический баланс ядерного горючего и интенсивным поиском альтернативных ему безопасных источников энергии, имеющих промышленное значение;
- 4) ужесточением экологических требований.

По расчетам отечественных и зарубежных специалистов, потенциальная возможность энергосбережения в странах СНГ, Центральной и Восточной Европы в настоящее время оценивается в зависимости от состояния их экономики в размере примерно 20 – 30 % от общего объема потребления ТЭР.

Республика Беларусь, как и многие страны мира, не имеет возможности обеспечить свои потребности собственными энергоресурсами. Экономика Беларуси базируется преимущественно на импорте энергоресурсов. Лишь 10 – 15 % потребностей покрывается собственными первичными энергоресурсами. В то же время длительный период неэффективного энергопотребления создал в Беларуси огромный неиспользованный потенциал энергосбережения, оцениваемый в 32 % от уровня суммарного потребления ТЭР в 1994 г., что соответствует 12 млн т у.т. Поэтому реализация имеющегося потенциала энергосбережения стала приоритетом политики государства. Энергосбережение рассматривается как крупный потенциальный источник энергетических ресурсов, способный обеспечить 30 – 40 % потребностей Беларуси в энергоресурсах. Эффективность использования энергоресурсов является также фактором, который определяет производство конкурентоспособной продукции и, в конечном итоге, стабильность и эффективность национальной экономики.

Энергетический менеджмент – управление энергообеспечением и энергопотреблением при целесообразном удовлетворении потребностей человека (организации) и минимальном негативном влиянии на окружающую среду.

Важнейшими *элементами* системы энергетического менеджмента являются:

1) образование Государственного комитета по энергосбережению и энергонадзору в 1993 г. (с 2000 г. – Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь), возглавляющего и координирующего работу по энергосбережению в республике;

2) принятие Государственной программы «Энергосбережение» в 1996 г.;

3) принятие Закона «Об энергосбережении» в 1998 г.

Энергетический менеджмент, являясь частью общего менеджмента, повторяет его иерархические структуры. Следует различать *энергомеджмент макроуровня*: на международном уровне, в стране, области, городе, отрасли экономики и т.п. и *энергомеджмент микроуровня*: внутри предприятия, учреждения, фирмы, в семье.

Цели энергетического менеджмента различны по своему содержанию для организаций разных иерархических уровней:

- на межгосударственном уровне – сохранение и рациональное использование мировых запасов энергетических ресурсов, поиск новых источников и форм энергии, поддержание и сохранение окружающей среды для следующих поколений;
- государственном (национальном) уровне – энергетическая независимость и безопасность, а также для стран СНГ – переход от энергозатратной к энергоэффективной экономике;
- отраслевом уровне – энергоэффективное и экологически безопасное функционирование отрасли в рамках национальной экономики;
- уровне области, города – минимум затрат энергоресурсов для обеспечения рациональных комфортных инфраструктур, качества жизни населения при соблюдении экологических норм;
- уровне отдельной фирмы, предприятия – достижение минимальной энергетической составляющей в себестоимости продукции и обеспечение конкурентоспособности продукции по энергетическим и экологическим характеристикам на внутреннем и мировом рынках;
- уровне семьи – минимальный счет за потребление энергии при обеспечении комфортных условий жизни.

На каждом из этих уровней предусматриваются свои концепция и технология (методики, средства, способы) энергосбережения.

Одной из составляющих энергетического менеджмента является обеспечение **энергетической безопасности** развития экономики. Сущность и формы реализации энергетической безопасности во многом зависят от уровня энергетической обеспеченности страны. Например, Республика Беларусь (в отличие от России) относится к категории стран, которые не обладают значительными собственными топливно-энергетическими ресурсами. Ежегодные расходы на закупку топлива и электроэнергии составляют около 2 млрд дол. США, что соизмеримо с величиной государственного бюджета Беларуси. При переходе на мировые цены на газ эта сумма может возрасти примерно вдвое.

Можно выделить следующие обобщенные факторы повышения энергетической безопасности стран с различным уровнем обеспеченности энергетическими ресурсами:

- развитие стратегии, методологии оценки и мониторинг энергетической безопасности;
- модернизация и реструктуризация топливно-энергетического комплекса;

- расширение списка стран-поставщиков и номенклатуры экспортируемых энергетических ресурсов;
- повышение надежности функционирования энергетических установок;
- диверсификация топливно-энергетических ресурсов, использование альтернативных источников энергии;
- повышение эффективности использования энергии за счет разработки и внедрения новых технологий и оборудования в промышленности, сельском хозяйстве, транспорте и социальной сфере;
- реализация существующего потенциала энергосбережения, включая уменьшение потерь энергии, использование вторичных энергетических ресурсов и т.д.;
- частичная переориентация на собственные топливно-энергетические ресурсы, включая:
 - использование местных видов органического топлива;
 - развитие энергетических источников на ядерном топливе;
 - развитие водородной энергетики;
 - использование вторичных энергетических ресурсов;
 - использование биологических отходов в промышленных масштабах для производства электроэнергии и теплоты;
 - развитие нетрадиционных возобновляемых энергетических источников на основе энергии Солнца, водных потоков, ветра и геотермальных вод;
 - доленое участие в разработке и эксплуатации и (или) акционирование предприятий энергетического сектора стран-партнеров;
 - разработка совместных со странами-партнерами программ повышения коллективной энергетической безопасности.

Общая характеристика республиканской программы «Энергосбережение»

Республиканская программа «Энергосбережение» содержит комплекс наиболее эффективных первоочередных мер по экономии ТЭР и приоритеты последующего обновления технологий.

Первая республиканская программа по энергосбережению, которая была принята в 1996 г. на период до 2000 г., включала комплекс неотложных мер по энергосбережению, которые были сгруппированы в четыре раздела.

1. Организационно-экономические мероприятия.

1.1. Создание законодательной и нормативно-технической базы по вопросам энергосбережения.

1.2. Экономическое стимулирование и финансирование работ по энергосбережению.

1.3. Увеличение объемов использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

1.4. Организация информации, подготовка кадров и международное сотрудничество.

2. Задания по энергосбережению.

В программе были приведены конкретные цифры по снижению удельных расходов условного топлива на отпуск тепловой энергии, электроэнергии, увеличению использования нетрадиционных, возобновляемых и вторичных энергоресурсов, обеспечению замещения закупаемого местными видами топлива (лес, торф), увеличению использования горючих отходов.

3. Основные направления инвестирования энергосберегающих мероприятий.

4. Источники финансирования энергосберегающих мероприятий: инновационные фонды, бюджет, средства предприятий.

Стратегической целью Республиканской программы энергосбережения на 2001 – 2005 гг. являлось снижение энергоемкости валового внутреннего продукта (ВВП) и уменьшение зависимости от импорта ТЭР.

Основными целями и задачами Республиканской программы энергосбережения на 2006 – 2010 гг. являются:

- разработка и организация выполнения комплекса организационных и технических мероприятий, взаимоувязанных по ресурсам, исполнителям, срокам реализации, направленных на снижение энергоемкости валового внутреннего продукта, замещение импортируемых топливно-энергетических ресурсов местными и создание необходимых условий для повышения уровня энергетической безопасности республики;

- снижение негативного воздействия на окружающую среду путем уменьшения выбросов парниковых газов, образующихся в результате сжигания топлива в энергетических целях.

Основные мероприятия программы:

- повышение эффективности работы генерирующих источников, использующих традиционные виды топлива;

- развитие нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;

- снижение потерь при транспортировке энергии;

- утилизация тепловых вторичных энергоресурсов;
- повышение энергоэффективности в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, бюджетной сфере;
- снижение энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве;
- развитие экономической заинтересованности производителей и потребителей энергоресурсов в повышении энергоэффективности;
- создание новых энергоэффективных и импортозамещающих технологий, оборудования и материалов в рамках научно-технической программы;
- реализация проектов международной технической помощи в сфере энергосбережения.

Ожидаемые конечные результаты реализации программы:

- снижение энергоемкости ВВП в 2010 г. на 31 % по отношению к 2005 г.;
- достижение экономии ТЭР за счет использования современных технологий, оборудования и внедрения других энергосберегающих мероприятий 9,14 – 9,87 млн т у.т.;
- увеличение использования в республике местных видов топлива, вторичных, нетрадиционных и возобновляемых энергоресурсов на 1,85 млн т у.т.;
- снижение выбросов парниковых газов в атмосферу не менее чем на 12 млн т (в эквиваленте CO₂).

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятий «энергия», «энергетические ресурсы», «энергетика», «энергетическая цепочка».
2. Какие виды энергии и источников энергии известны?
3. На чем базируется традиционная и нетрадиционная энергетика?
4. Что включает в себя понятие «энергосбережение»? Каковы основные принципы энергосбережения?
5. Чем отличаются активные и пассивные, прямые и косвенные методы энергосбережения?
6. Каковы основные тенденции развития мировой энергетики в отношении топливно-энергетического баланса?
7. Что такое энергетический менеджмент?
8. Перечислите обобщенные факторы энергетической безопасности экономики.
9. Дайте общую характеристику республиканской программы «Энергосбережение».

Тема 1 ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

1.1. Первичные источники энергии и их классификация

Энергия, непосредственно извлекаемая в природе, называется *первичной*, а носители первичной энергии называются *первичными энергоресурсами*.

Первичная энергия делится на традиционные и нетрадиционные виды.

К *традиционным* видам энергии относятся: ядерная энергия; органическое топливо (твердое, жидкое и газообразное); гидроэнергия рек.

К *нетрадиционным*: солнечная энергия; энергия ветра; биологическое топливо; энергия морских волн; геотермальная энергия; энергия приливов.

1.1.1. Местные топливно-энергетические ресурсы

Весь комплекс первичных энергоресурсов, ограниченных определенной территорией, объединяется понятием *местные топливно-энергетические ресурсы*.

Топливо-энергетический комплекс Республики Беларусь включает: добычу торфа и производство торфобрикетов, нефтедобычу и нефтепереработку. Также республика располагает запасами бурых углей, сланцев, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Нефть и попутный газ. Месторождения нефти сосредоточены в Припятском прогибе, площадь нефтегазоносной области составляет около 30 тыс. км².

В период с 1978 по 1988 гг. было открыто 38 новых месторождений с суммарными запасами 38 млн т. С начала разработки добыто 100 млн т нефти и 10,1 млрд м³ попутного газа, остаточные запасы нефти промышленных категорий составляют 66 млн т, попутного газа – 9,6 млрд м³. Не разведанные ресурсы нефти оцениваются на уровне 170 млн т.

Объемы добычи нефти в будущем будут постоянно снижаться. Это связано с тем, что разведанные месторождения находятся в заключительной стадии разработки, а вновь осваиваемые характеризуются малыми размерами и небольшими запасами. Кроме того, они относятся к трудноизвлекаемым, и, соответственно, для добычи этой нефти требуются новейшие технологии и оборудование.

Торф. В республике разведано более 9 000 торфяных месторождений с первоначальными запасами торфа 5,65 млрд т. К настоящему времени оставшиеся геологические запасы оцениваются в 4,3 млрд т, что составляет 75 % от первоначальных. Основные запасы торфа залегают в месторождениях, используемых сельским хозяйством или отнесенных к природоохраным объектам. Ресурсы торфа, включенные в разрабатываемый фонд, оцениваются в 260 млн т, что составляет 6 % оставшихся запасов.

Горючие сланцы впервые выявлены в Беларуси в 1963 г. Они широко распространены в Припятском прогибе. Глубина залегания – до 600 м. Прогнозные запасы горючих сланцев оцениваются в 11 млрд т, промышленные – в 3,6 млрд т. По своим показателям белорусские горючие сланцы не являются эффективным топливом из-за высокой зольности (61 – 82 %) и низкой теплоты сгорания (4 200 – 6 700 кДж/кг). Из-за низкого качества сланцы не пригодны для прямого сжигания. Они требуют предварительной термической переработки с выходом жидкого и газообразного топлива. Стоимость получаемых продуктов выше мировых цен на нефть.

Бурые угли. Месторождения бурых углей с общими запасами 151,6 млн т расположены в Гомельской области – Житковичское, Тонезское, Бриневское. Детально разведаны к настоящему времени 100 млн т. Средняя мощность пластов – 3 – 4 м, глубина залегания – 20 – 80 м. Бурые угли – низкокалорийные (теплота сгорания 6 300 – 7 500 кДж/кг), поэтому пригодны в основном для использования как коммунально-бытовое топливо после брикетирования совместно с торфом.

В перспективе объемы добычи бурых углей могут достигнуть 4 млн т в год, что соответствует 3,7 % общего потребления котельно-печного топлива в республике в настоящее время, и заменить 5 – 6 % импортируемого природного газа.

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. С учетом природных, географических и метеорологических условий Республики Беларусь в качестве нетрадиционных и возобновляемых местных источников энергии можно рассматривать:

- малые гидроэнергетические и ветроэнергетические установки;
- биоэнергетические установки;
- гелиоустановки;
- установки для сжигания отходов растениеводства и др.

Хотя эти источники могут в совокупности обеспечить не более 5 % всей расчетной экономии топлива, их применение очень важно по нескольким причинам:

- работы по их использованию будут способствовать развитию собственных технологий и оборудования, которые впоследствии могут стать предметом экспорта;
- эти источники, как правило, являются экологически чистыми;
- их применение само по себе обеспечивает воспитание у людей психологии энергосбережения и энергоэффективности, что будет способствовать переходу от расточительной к рациональной экономике.

1.2. Органическое топливо

В настоящее время основным источником энергии является органическое топливо – твердое, жидкое и газообразное.

Топливом называют горючие вещества, которые сжигают для получения в промышленных целях необходимого количества теплоты.

Твердое и жидкое органическое топливо в общем случае состоит из углерода, водорода, серы, кислорода, азота, минеральных примесей и влаги. Состав топлива в том виде, в каком оно поступает к потребителю, называется рабочим топливом. Элементный состав рабочей массы (индекс «р») топлива выражается следующим образом:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_{op+k}^P + A^P + W^P = 100 \text{ \%}.$$

К горючим элементам топлива относятся углерод C , водород H и сера S . Сера содержится в топливе в трех видах: органическая S_{op} , колчеданная S_k и сульфатная S_c . Органическая входит в состав сложных органических соединений топлива. Колчеданная входит в виде соединений с металлами типа железного колчедана FeS_2 . Сульфатная сера входит в состав топлива в виде сульфатов $CaSO_4$ и $FeSO_4$, поэтому в процессе горения дальнейшему окислению не подвергается, а переходит в золу. Зола топлива A^P представляет собой смесь негорючих минеральных соединений, которые остаются после сгорания топлива. В состав золы входят SiO_2 , Al_2O_3 , FeO_4 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , сульфаты и др.

Зола вместе с влагой W^P составляют негорючую часть топлива, и называется внешним балластом. Внешний балласт снижает ценность топлива, к тому же часть теплоты расходуется на испарение влаги и уносится с дымовыми газами через трубу в атмосферу.

Кислород O^P и не участвующий в горении азот N^P называют внутренним балластом топлива.

Твердое топливо характеризуется выходом летучих веществ при его нагреве без доступа воздуха. Летучие вещества выходят в виде газов, смоляных и водяных паров. Содержание летучих веществ V в топливе оказывает большое влияние на процесс воспламенения топлива и полноту его сгорания, учитывается при конструировании топочных устройств и влияет на их эксплуатационные характеристики. Наибольший объем летучих веществ (85 – 90 %) содержится в дровах и других «молодых» топливах. По мере увеличения геологического возраста топлива содержание летучих веществ в нем уменьшается. Для антрацитов выход летучих составляет 3 – 4 %.

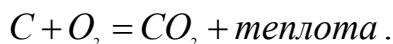
Определение выхода летучих проводится в строго определенных стандартных условиях: воздушно-сухое топливо массой 1 г нагревается при температуре 850 °С в течение 7 мин без доступа воздуха.

Жидкие топлива получают путем переработки нефти. Нефть, жидкое горючее полезное ископаемое, представляет собой в основном сложную смесь углеводородов. Из нефти вырабатывают котельное топливо (температура кипения $t_k = 330 - 350$ °С), дизельное топливо ($t_k = 180 - 360$ °С), керосин ($t_k = 120 - 135$ °С), бензин ($t_k = 30 - 180$ °С) и сжиженный газ с выходом около 1 %.

К газообразному топливу относятся природный газ, попутный и сжиженный газ. Основным элементом природного газа является метан CH_4 , а также высшие углеводороды C_nH_m , азот N_2 и диоксид углерода CO_2 . Попутный газ получают при добыче нефти. Он содержит больше высших углеводородов. Сжиженный газ получают при первичной переработке нефти и попутных нефтяных газов.

1.2.1. Процесс термической переработки органического топлива

Основой процесса термической переработки топлива является химическая реакция окисления под названием *горение*:



В результате этой реакции происходит высвобождение связанной химической энергии в виде тепловой энергии, которую и следует рассматривать как полезный эффект процесса горения.

Процесс термической переработки органического топлива (рис. 1.1) включает следующие основные фазы:

- выпаривание начальной влаги из рабочей массы топлива, т.е. его разделение на водяные пары и топливо в сухом состоянии;
- выделение при дальнейшем нагревании топлива летучих горючих компонентов, которые в основном и поддерживают процесс горения.

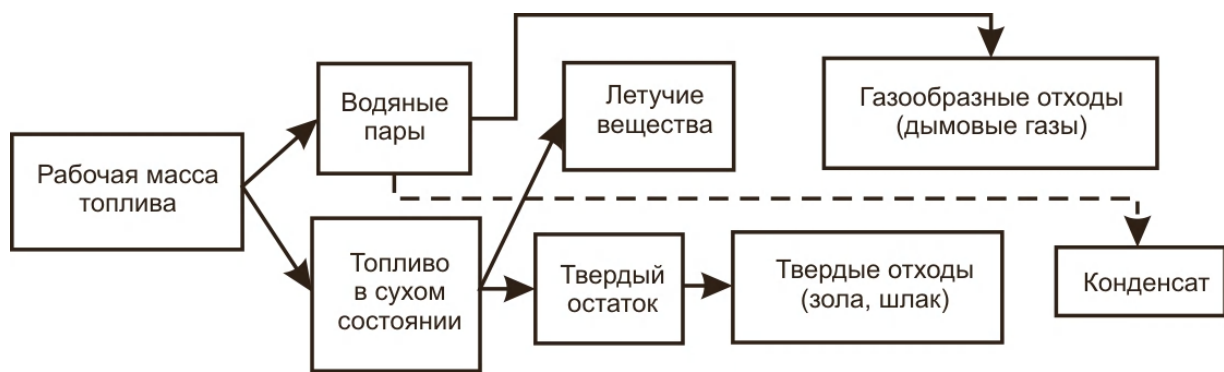


Рис. 1.1. Схема термической переработки топлива

В результате процесса горения образуется два вида отходов:

- газообразные (дымовые газы);
- твердые (зола, шлак).

Дымовые газы являются носителем значительного количества остаточной тепловой энергии. Поэтому они являются основным объектом энергетического менеджмента в рамках технологий производства вторичной энергии на основе органического топлива.

В большинстве случаев для поддержания процесса горения используется атмосферный воздух. От количества кислорода воздуха зависит эффективность процесса горения и получения теплоты.

Эффективность сжигания топлива характеризуется **коэффициентом избытка воздуха** α – отношением количества воздуха, действительно поданного на горение L_d , к теоретически необходимому L_0 .

$$\alpha = L_d / L_0.$$

Оптимальное значение коэффициента избытка воздуха выбирается в зависимости от вида и состояния топлива, а также от устройства, в котором оно сжигается. В совершенных устройствах при сжигании сухого энергетического топлива $\alpha = 1,05 - 1,1$. В плохих устройствах, а также при сжигании влажного топлива $\alpha = 1,3 - 1,5$. При значительном избытке воздуха часть кислорода не окисляет топливо, поэтому требуются дополнительные затраты тепла на его нагрев, что приводит к перерасходу топлива. При недостатке воздуха топливо полностью не сгорает и, как следствие, используется неэффективно.

1.2.2. Теплота сгорания органического топлива

Основной характеристикой топлива является **теплота сгорания** – количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы топли-

ва (1 кг массы твердого или жидкого топлива или 1 м³ газового топлива) при нормальных физических условиях.

Различают высшую и низшую теплоту сгорания.

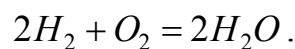
Высшей теплотой сгорания Q_g^p называется количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива с учетом теплоты конденсации водяных паров, образующихся при сгорании водорода H^p и испарении влаги топлива W^p .

Низшей теплотой сгорания Q_n^p называется теплота сгорания топлива при условии, что влага, образующаяся при сгорании водорода топлива $9H^p$, и влага топлива W^p находятся в парообразном состоянии.

Связь между высшей и низшей теплотой сгорания топлива выражается формулой

$$Q_n^p = Q_g^p - 0,025 \cdot (9H^p + W^p),$$

где 0,025 – теплота парообразования воды, МДж/кг; величина $9H^p$ соответствует количеству воды, образующейся при сгорании H^p топлива, по стехиометрическому уравнению



Высшая теплота сгорания твердого и жидкого топлив определяется лабораторным путем методом калориметрирования.

Теплота сгорания топлива (МДж/кг) может быть рассчитана по эмпирическим формулам, наиболее точная из которых принадлежит Д.И. Менделееву. Для твердых и жидких топлив она имеет вид:

$$Q_n^p = 0,339 \cdot C^p + 1,03 \cdot H^p - 0,109 \cdot (O^p - S_{op+k}^p) - 0,025 \cdot W^p.$$

В данной формуле коэффициенты подобраны экспериментально и несколько отличаются от теплоты сгорания отдельных элементов.

Оценка эффективности использования топлива при его сжигании в Беларуси и странах СНГ основана на низшей теплоте сгорания. В США, Англии – на высшей теплоте сгорания. В других странах Западной Европы – как на низшей, так и на высшей.

1.2.3. Условное топливо

Для сравнения энергетической ценности различных видов топлива вводится понятие условного топлива, теплота сгорания которого принята равной $Q_{усл} = 29,33$ МДж/кг (7 000 ккал/кг).

Этот показатель соответствует хорошему малозольному углю, который иногда называется *угольным* эквивалентом. За рубежом для анализа используется условное топливо с теплотой сгорания 41,9 МДж/кг. Этот показатель называется *нефтяным* эквивалентом.

Пересчет расхода топлива B в условное $B_{усл}$ проводится по формуле

$$B_{усл} = B \cdot (Q_n^p / Q_{усл}).$$

Понятием условного топлива пользуются также при планировании добычи и потребления топлива, суммарного учета его запасов, сравнения показателей теплоиспользующих устройств.

Контрольные вопросы

1. Что такое первичная энергия? На какие виды она делится?
2. Какие виды первичных энергоресурсов относятся к местным энергетическим ресурсам?
3. Какие компоненты входят в состав ископаемого твердого и жидкого топлива?
4. Какие фазы включает процесс термической переработки органического топлива?
5. Что такое теплота сгорания органического топлива? Чем отличается высшая и низшая теплота сгорания?
6. Что такое условное топливо? Назовите угольный и нефтяной эквивалент топлива.

Тема 2

ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

2.1. Производство теплоты

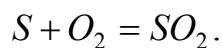
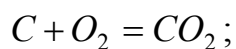
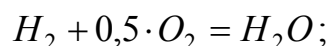
В традиционной энергетике в качестве первичной энергии используется органическое или ядерное топливо, применение которого позволяет получать теплоту. Теплота может использоваться непосредственно или преобразовываться в другие виды энергии: механическую, электрическую.

Для получения теплоты из органического топлива применяются топочные устройства, а из ядерного топлива – ядерные реакторы, которые соответственно входят в состав котельных установок и промышленных печей, а также ядерных энергетических установок.

2.1.1. Топки

Топкой называется часть промышленной установки, предназначенная для сжигания топлива с целью получения продуктов сгорания высокой температуры и высокой энтальпии.

Тепловое горение топлива представляет собой различные формы протекания сильно экзотермических химических реакций. Химическая природа горения может быть различной. Наиболее распространено кислородное горение, которое применяется при сжигании топлив. Исходные и конечные состояния участвующих в реакциях компонентов можно описать основными стехиометрическими уравнениями реакций горения водорода, углерода и серы:



Технологическая схема топки приведена на рис. 2.1. В топку подаются топливо и воздух. В зоне горения топлива выделяется теплота, равная низшей теплоте сгорания топлива Q_n^P . Часть теплоты используется как полезная энергия $Q_{пол}$. Другая часть теряется в виде механического недожога Q_m с золой и шлаком, с уходящими газами в виде физической теплоты Q_{yz} и не прореагировавших горючих компонентов в виде химического недожога Q_x , а также через стенки топочного устройства Q_c .

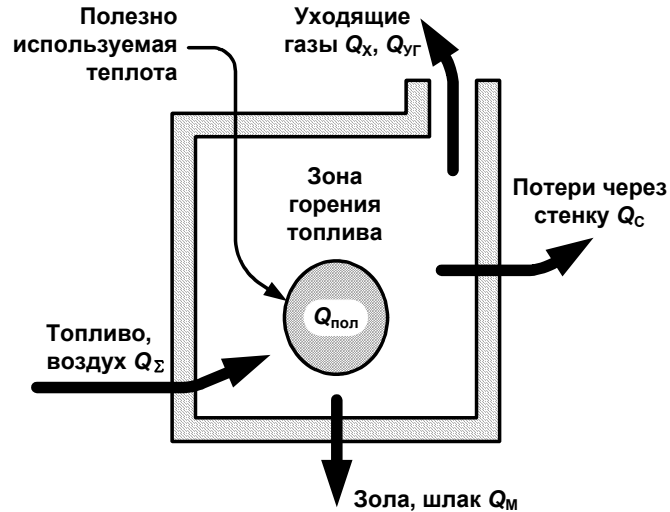


Рис. 2.1. Технологическая схема топки

Эффективность топки определяется на основании уравнения теплового баланса:

$$Q_n^p = Q_{пол} + Q_{уг} + Q_x + Q_m + Q_c .$$

Из уравнения теплового баланса вычисляется коэффициент полезного действия (кпд) топки:

$$\eta_m = Q_{пол} / Q_n^p .$$

В зависимости от вида и свойств сжигаемого топлива топки делятся на слоевые и камерные.

Слоевые топки применяются для сжигания твердого топлива и по организации процесса горения разделяются на топки с плотным и кипящим (псевдоожиженным) слоями.

В **топках с плотным слоем** (рис. 2.2, а) топливо располагается на решетке (колоснике), а в **топках с кипящим слоем** (рис. 2.2, б) парит в воздухе за счет своей мелкозернистой структуры и повышенной скорости воздуха, что позволяет уравнивать частицы в топочном пространстве.

В топках с плотным слоем зона, в пределах которой полностью исчезает кислород, называется кислородной. Ее высота составляет приблизительно три диаметра кусков топлива. Если высота слоя топлива ниже кислородной зоны, то в топку воздух подается с избытком. В противном случае будет присутствовать восстановительная зона, где образуются горючие газы CO и H_2 . Для их дожигания требуется подача вторичного воздуха, иначе, как и в первом случае, процесс сжигания топлива будет неэффективным. Обычно толщина слоя топлива немного превышает высоту кислородной зоны.

В топках с кипящим слоем скорость воздуха выбирается такой, чтобы сила, действующая на частицу топлива, уравновешивала силу тяжести, но была недостаточной для его выноса. Средние размеры частиц составляют 2 – 3 мм при скорости воздуха 1,5 – 4 м/с. Это обеспечивает хороший контакт с окислителем во всем объеме. Топки с циркулирующим кипящим слоем, когда улавливаются недогоревшие частицы и возвращаются обратно, являются более эффективными и по характеристикам близки к камерным. В топках с кипящим слоем эффективно сжигаются горючие отходы и низкосортное топливо.

В *камерных топках* (рис. 2.2, в) может сжигаться топливо любого агрегатного состояния во взвешенном состоянии. Однако если сжигание газообразного и жидкого топлива не требует предварительной подготовки, твердое топливо должно быть размолото до пылевидного состояния в специальных пылеприготовительных установках.

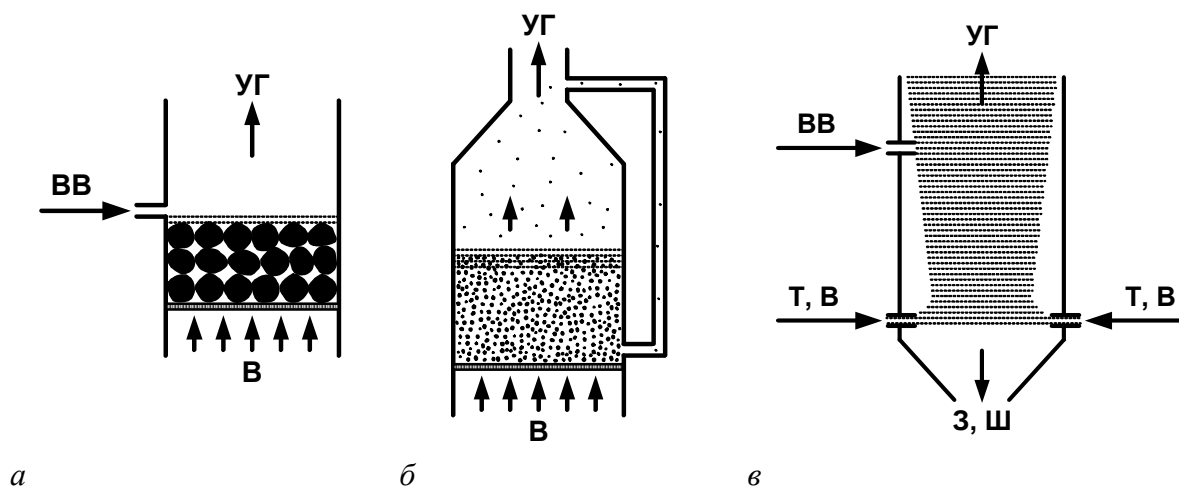


Рис. 2.2. Схемы слоевых топок с плотным (а) и кипящим (б) слоями, камерной топки (в):

В – воздух; ВВ – вторичный воздух; Т – топливо; З – зола; Ш – шлак; УГ – уходящие газы

Камерные топки делятся на факельные и циклонные.

В *факельных топках* сжигается газообразное, жидкое и пылевидное твердое топливо. В процессе сжигания газообразное топливо подается через газовые горелки, в которых готовится топливовоздушная смесь при $\alpha = 1,05 - 1,3$. Жидкое топливо подается через форсунки, с помощью которых оно распыляется и смешивается с воздухом при $\alpha = 1,1 - 1,3$. Камерные топки позволяют сжигать предварительно измельченные отходы углей, древесную пыль. Твердое топливо вдувается через пылеугольные горелки и смешивается с пылью в процессе горения.

Если сжигается газовое или жидкое топливо, то топочная камера выполняется с горизонтальным или слегка наклонным подом. Форсунки для подачи и распыления жидкого топлива, а также газовые горелки располагаются фронтально, встречно или по углам топки.

По способу распыливания жидкого топлива **форсунки** делятся на механические, паровоздушные и комбинированные. Распыливание топлива в механических форсунках (рис. 2.3, а – в) происходит под действием кинетической энергии струи самого мазута, вытекающего через сопловые отверстия в головке форсунки.

В паровоздушных форсунках (рис. 2.3, г, д) для распыливания мазута используется кинетическая энергия струи пара (или воздуха). Тонкость распыливания связана со скоростью паровой струи.

В комбинированных форсунках (рис. 2.3, е) мазут распыливается за счет совместного действия давления струи топлива и энергии распыливающей среды.

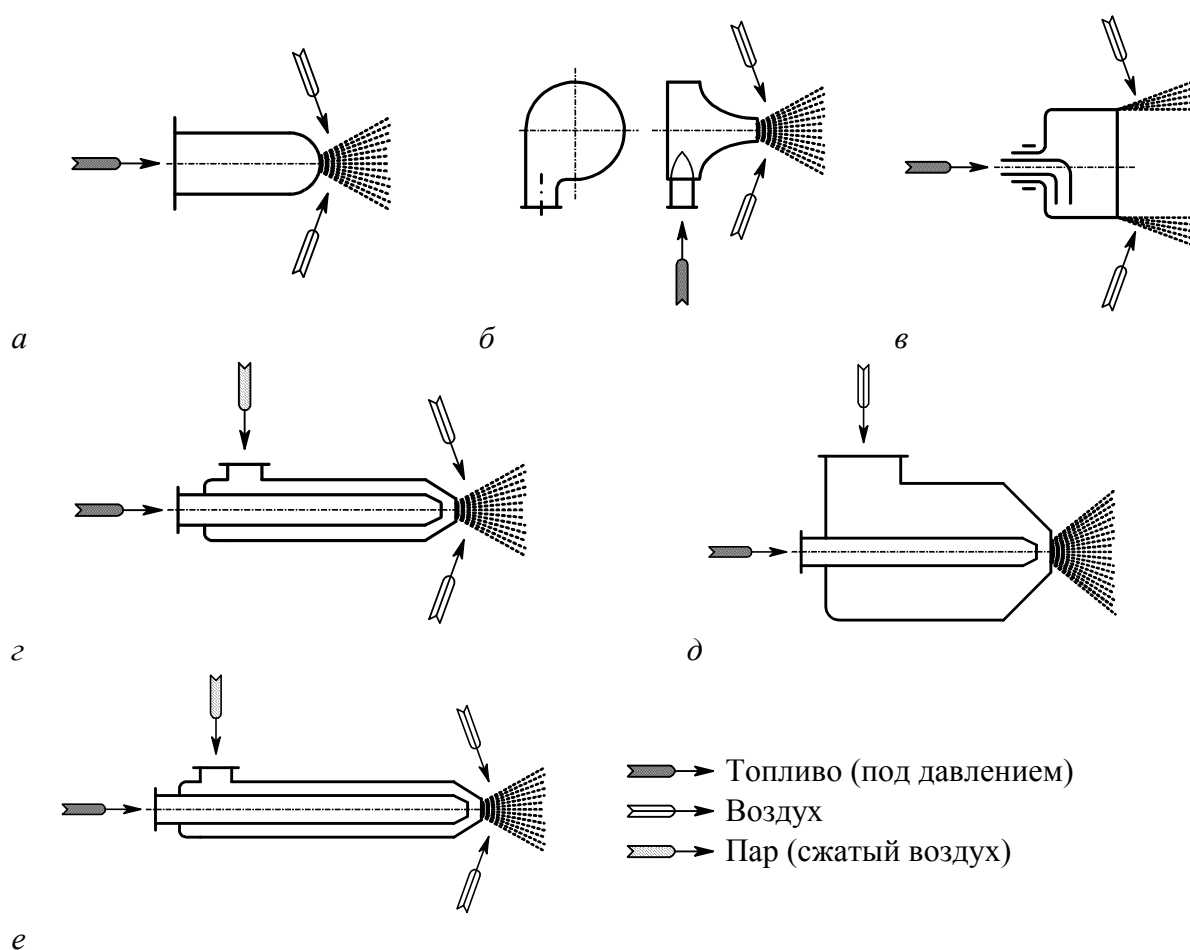


Рис. 2.3. Форсунки для жидкого топлива: прямотруйная (а); центробежная (б); вращающаяся (в); высокого (г) и низкого (д) давления; комбинированная (е)

Для сжигания природного газа применяются горелки с внешним смешением и горелки инжекционного типа. Горелки служат для подачи газа и воздуха в топку в количествах, необходимых для устойчивого процесса горения.

Для горелок с внешним смешением газа и воздуха характерен длинный видимый светящийся факел с диффузионным режимом горения. Такие горелки называются диффузионными. Для обеспечения наиболее благоприятных условий сгорания газа необходимо весь воздух подавать к корню факела, к устью горелки (рис. 2.4). Смешение газа и воздуха происходит в самой топочной камере.

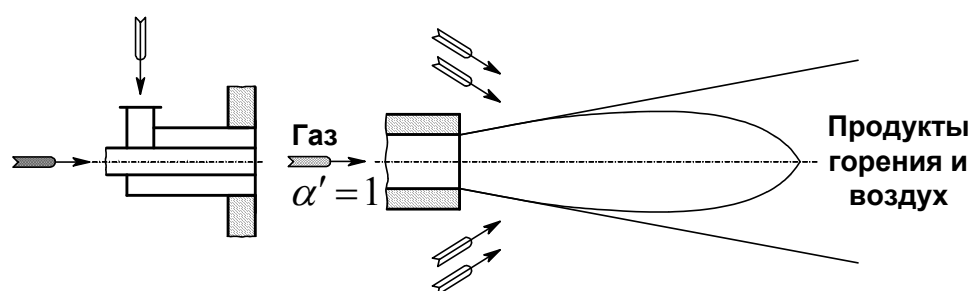


Рис. 2.4. Принципы организации сжигания газового топлива

Камерные топки позволяют сжигать предварительно измельченные отходы углей, древесную пыль. Твердое топливо вдувается через пылеугольные горелки с первичным воздухом. Вторичный воздух подается отдельно и смешивается с пылью в процессе горения.

В *циклонных топках* используются частицы топлива < 5 мм при скорости воздуха до 100 м/с, подаваемого в виде закрученного потока. При этом достигаются температуры, близкие к $2\ 000$ °С. Данные топки в основном используются как технологические, в т.ч. и для обезвреживания сточных вод. В некоторых случаях возникают проблемы при удалении шлака, который выходит в жидком состоянии.

Энергетические характеристики топок. Валовой мощностью (производительностью) топки Q_{Σ} называют произведение часового расхода сжигаемого топлива B (кг/с) и его низшей теплоты сгорания Q_n^p (кДж/кг):

$$Q_{\Sigma} = B \cdot Q_n^p .$$

Для топок слоевого сжигания необходимой характеристикой является тепловое напряжение зеркала горения, кВт/м²:

$$q_R = \frac{B \cdot Q_H^p}{R} = \frac{Q_\Sigma}{R},$$

где R – площадь колосниковой решетки (зеркала горения), м^2 .

Оптимальные значения q_R лежат в пределах $800 \dots 2\,300 \text{ кВт/м}^2$ (чаще – $1\,000 \text{ кВт/м}^2$) и зависят от характеристик топлива и типа топочного устройства.

Удельная мощность камерной топки определяется тепловым напряжением топочного пространства q_V , кВт/м^3 :

$$q_V = \frac{B \cdot Q_H^p}{V_m} = \frac{Q_\Sigma}{V_m},$$

где V_m – объем топочного пространства, м^3 .

Оптимальное значение q_V лежит в пределах $140 \dots 460 \text{ кВт/м}^3$ и зависит от конструкции топки, качества топлива и способа его сжигания.

2.1.2. Котлы и печи

Топки входят в состав котельных установок (котлов) и промышленных печей. В котлах полученная теплота передается промежуточной транспортной среде – теплоносителю и с его помощью используется конечными потребителями вне котла в форме теплоты или преобразуется в другие виды энергии (механическую, электрическую). В промышленных печах теплота используется непосредственно для термической обработки сырья и готовой продукции.

Котлы по своему назначению делятся на паровые и водогрейные.

Паровой котел предназначен для производства насыщенного или перегретого пара из воды.

Водогрейный котел предназначен для нагрева воды. Циркуляция теплоносителя в котлах может быть естественной или принудительной. Простейший котел (рис. 2.5, а) представляет собой комбинацию топки и сосуда под давлением, в котором нагревается вода или генерируется пар.

Рассмотрим более подробно принцип работы современного парового котла с естественной циркуляцией (рис. 2.5, б). Теплота, выделяющаяся при сгорании топлива в топках котлов, передается воде или пару. В топку котла подаются топливо (Т) и горячий воздух (ГВ). Из барабана 2 по отпусковым трубам 10, отделенным от топки экранами (стенками газоходов) 9, вода поступает в парогенерирующие трубы 1, где нагревается и испаряет-

ся. Затем пар поступает в барабан и смешивается с питательной водой (ПВ). Далее пар направляется в пароперегреватель 3, где нагревается отходящими газами. Неиспользованное тепло уходящих дымовых газов (УГ) применяется для предварительного нагрева питательной воды в экономайзере 4 и воздуха в воздухоподогревателе 5. Экономайзер и воздухоподогреватель представляют собой рекуперативные теплообменные аппараты, в которых физическая теплота уходящих дымовых газов передается рабочей среде. За счет предварительного подогрева питательной воды и воздуха достигается более высокий процент (90–95%) полезного использования первичной энергии, полученной при сжигании топлива. В результате получается энергосберегающий эффект.

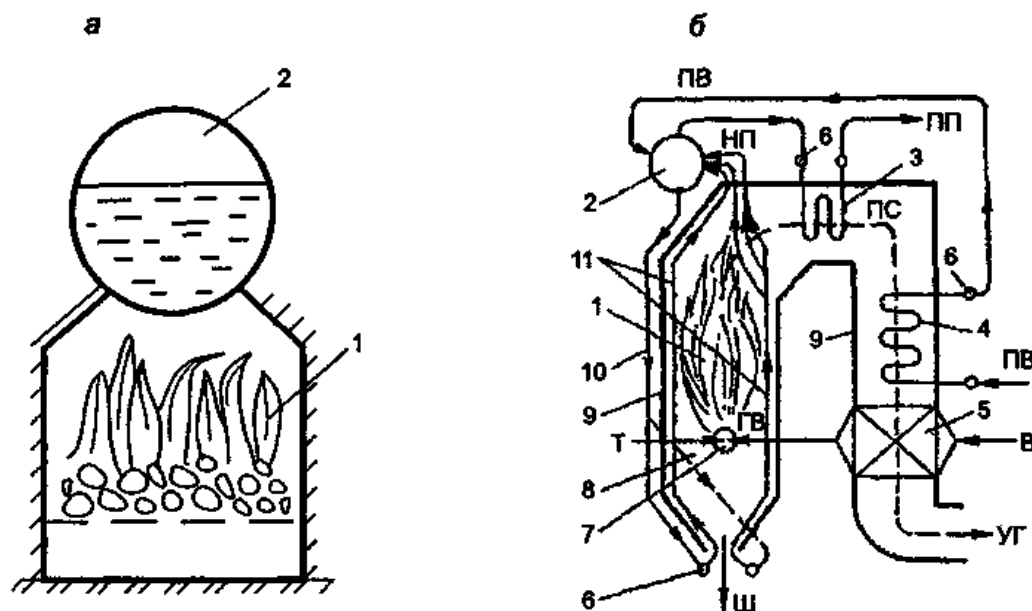


Рис. 2.5. Схемы простейшего (а) и современного (б) паровых котлов:

1 – факел пламени; 2 – барабан; 3 – пароперегреватель; 4 – водяной экономайзер; 5 – воздухоподогреватель; 6 – коллекторы; 7 – горелка; 8 – топка; 9 – ограждающая поверхность; 10 – отпуская труба; 11 – экранные трубы;

ПВ – питательная вода; НП – насыщенный пар; ПП – перегретый пар; Т – топливо; В – воздух; ГВ – горячий воздух; ПС – продукты сгорания; УГ – уходящие газы

Эффективность использования первичной энергии в котлах приблизительно определяется уравнениями теплового баланса топок.

Печи – устройства, применяемые для тепловой обработки материалов или изделий либо для отопления.

По области применения делятся на промышленные и бытовые.

По назначению – на плавильные, нагревательные, обжиговые, сушильные, отопительные, хлебопекарные и др.

В промышленных печах теплота передается обрабатываемому материалу. В отопительных печах теплота передается аккумулирующим стенкам, которые, остывая, выделяют эту теплоту в отапливаемое помещение.

В промышленных печах нагрев материала при температуре компонентов горения может проводиться непосредственно в топке или вне топки в дополнительной камере продуктами сгорания, полученными в выносной топке. Печи бывают периодического и непрерывного действия.

Многие промышленные печи характеризуются низким коэффициентом полезного действия (порядка 25 %). Это обусловлено высокотемпературной обработкой материалов, при которой уходящие газы имеют температуру 750 – 1 600 °С, неудовлетворительной организацией топочных процессов горения и потерями теплоты через ограждающие поверхности.

В печах для технологических процессов используется часть энергии, которая является полезной:

$$Q_{пол} = c \cdot M \cdot (t_2 - t_1) \pm Q'_r = c' \cdot M \cdot (t_2 - t_1),$$

где c – теплоемкость материала загрузки;

M – масса полезной загрузки;

t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры загрузки;

Q'_r – теплота химической реакции;

c' – приведенная теплоемкость загрузки.

Тепловой коэффициент полезного действия печи рассчитывается по формуле

$$\eta_m = Q_{пол} / Q_n^p.$$

Полезная мощность печи рассчитывается по соотношению

$$N = \frac{c' \cdot M \cdot (t_2 - t_1)}{\tau_n},$$

где τ_n – время нагрева печи.

Экономия энергии в котлах и печах может быть достигнута:

- оснащением их электронными регуляторами для подачи топлива и воздуха с оптимальным коэффициентом избытка последнего;
- использованием эффективной изоляции ограждающих поверхностей для снижения потерь теплоты высокотемпературных отходящих газов в производственных и непроизводственных целях;
- применением конденсационных теплообменников на выходе низкотемпературных отходящих газов.

Применение всех перечисленных мер позволяет повысить КПД котлов и печей более чем до 95 %.

2.2. Производство электрической энергии

Электрическая энергия является наиболее удобным видом как для транспортировки, так и для конечного потребления. В традиционной энергетике для производства электроэнергии используют теплоту, которая вначале преобразуется в механическую работу, а затем в электрическую энергию. Преобразование теплоты в механическую работу осуществляется с помощью тепловых машин: паросиловых установок, двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок.

Термодинамикой установлено, что для непрерывного получения механической энергии из тепловой необходимо иметь три основных элемента, в совокупности образующих *тепловую машину*:

- резервуар тепла с относительно высокой температурой (горячий источник, или нагреватель);
- резервуар тепла с более низкой температурой (холодный источник, или холодильник);
- рабочее тело (воздух, водяной пар, газы и т.п.), непрерывно совершающее цикл, с помощью которого тепловая энергия превращается в механическую.

Наибольшее применение в качестве рабочего тела имеют продукты сгорания топлива – в двигателях внутреннего сгорания (автомобиле, самолете и др.) и водяной пар – в энергетических теплосиловых установках. Реже используется углекислота и гелий (АЭС), фреон и аммиак (холодильные установки). Однако главным производителем механической энергии из тепловой является не рабочее тело, а резервуары тепла, или, как их обычно называют в термодинамике, источники тепла.

Из второго закона термодинамики следует, что источники тепла обязательно должны иметь различную температуру: один из них – более высокую (горячий источник), а второй – более низкую (холодный источник).

В каждом цикле от горячего источника передается рабочему телу определенное количество тепла Q , а от рабочего тела переходит в холодный источник определенное, но всегда меньшее количество тепла Q^* . Так как рабочее тело после завершения цикла возвращается в исходное состояние, то произведенная за один цикл механическая энергия обязательно должна быть равна разности двух количеств тепла: полученного от горяче-

го источника и переданного холодному источнику. Так было бы, если бы отсутствовали потери на трение и др. Но на самом деле потери всегда имеются. Поэтому реально получаемая механическая энергия меньше разности двух количеств тепла на величину потерь.

В этом заключается сущность непрерывного производства механической энергии из тепловой в тепловой машине, определяемое выражением

$$A = (Q - Q^*) - dQ.$$

Коэффициент полезного действия описанного процесса – цикла Карно – зависит в первую очередь от температур источников тепла. Его максимальное значение независимо от конструкции тепловой машины и выбора рабочего тела и определяется выражением

$$\text{кпд}_{\text{макс}} = \frac{T - T^*}{T}.$$

Для повышения КПД температура горячего источника T должна быть как можно выше, а холодного T^* – как можно ниже. Что касается холодного источника тепла, то здесь выбирать не приходится. Этим источником всегда является окружающая среда – вода и воздух. Иначе обстоит дело с горячим источником. Он может быть избран из числа созданных природой: энергии Солнца или тепла глубинных слоев Земли. Но в настоящее время в подавляющем большинстве случаев используются искусственные источники тепла, создаваемые в результате сжигания органического топлива или проведения экзотермической управляемой ядерной реакции в атомном реакторе. В первом случае может быть достигнута температура около 3 000 °С, а во втором – практически неограниченно высокая.

Теоретически для повышения КПД процесса всегда выгодно увеличивать начальную температуру. Практически же повышение начальной температуры имеет предел. Он определяется, во-первых, реальными техническими возможностями материалов, а во-вторых, – их ценой.

В настоящее время в Беларуси электроэнергия почти полностью производится на основе преобразования энергии ископаемого топлива. Лишь незначительная доля производится на основе возобновляемых источников. Электроэнергия производится на станциях, которые в своем названии содержат указание на то, какой вид первичной энергии в какой вид вторичной преобразуется на них:

- **ТЭС** – тепловая электрическая станция преобразует тепловую энергию в электрическую;

- *АЭС* – атомная электростанция преобразует атомную энергию ядерного топлива в электрическую;
- *ГЭС* – гидроэлектростанция преобразует механическую энергию движения воды в электрическую;
- *ГАЭС* – гидроаккумулирующая электростанция преобразует механическую энергию движения предварительно накопленной в искусственном водоеме воды в электрическую;
- *ПЭС* – приливная электростанция преобразует энергию приливов в электрическую, и т.д.

В Республике Беларусь более 95 % энергии вырабатывается на ТЭС, поэтому процесс преобразования энергии на электростанции рассмотрим на примере этого вида станции.

2.2.1. Тепловые электростанции

По назначению тепловые электростанции делятся на два типа:

- *КЭС* – конденсационные тепловые электростанции, предназначенные для выработки только электрической энергии;
- *ТЭЦ* – теплоэлектроцентрали, на которых осуществляется совместное производство электрической и тепловой энергии.

Основное оборудование ТЭС – котел-парогенератор ПГ, турбина Т и генератор Г (рис. 2.6). В котле при сжигании топлива выделяется тепловая энергия, которая преобразуется в энергию водяного пара. В турбине Т энергия водяного пара превращается в механическую энергию вращения. Генератор Г превращает энергию вращения в электрическую. Тепловая энергия для нужд потребления может быть взята в виде пара из турбины либо котла.

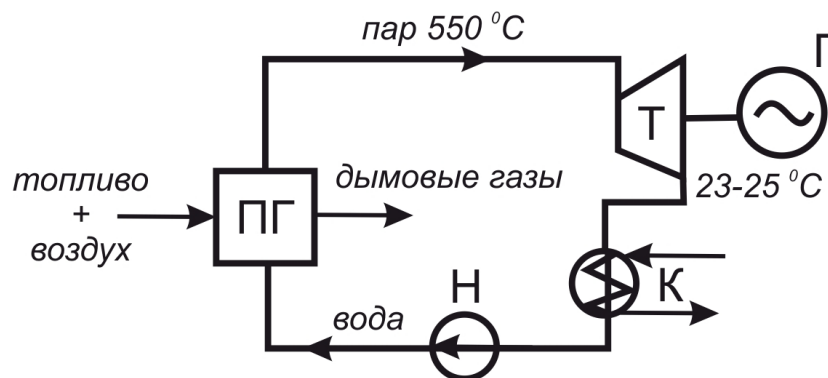


Рис. 2.6. Тепловая схема ТЭС

Кроме основного оборудования в состав ТЭС входит конденсатор пара К, в котором отработанный пар, отдавая скрытую теплоту парообразования охлаждающей его воде, с помощью циркуляционного насоса Н в виде конденсата вновь подается в котел-парогенератор.

На ТЭЦ помимо электрической энергии вырабатывается и тепловая путем отвода части пара и нагрева с его помощью воды, подаваемой в тепловые магистрали.

Технология преобразований энергии на ТЭС может быть представлена в виде цепи следующих превращений: внутренняя химическая энергия топлива → тепловая энергия воды и пара → механическая энергия вращения → электрическая энергия.

Особенности работы ТЭС. Топливо и окислитель, которым обычно служит воздух, непрерывно поступает в топку котла. В качестве топлива чаще всего используются уголь, сланцы, природный газ и мазут. Однако использование природного газа и особенно мазута в перспективе должно сокращаться, т.к. это слишком ценные вещества, чтобы их использовать в качестве котельного топлива. За счет тепла, образующегося в результате сжигания топлива, в паровом котле вода превращается в пар с температурой около 550 °С. Можно было бы получить пар и с более высокой температурой, но это не выгодно. Коэффициент полезного действия ТЭС – это отношение полученной электрической энергии к тепловой энергии, образовавшейся при сжигании топлива; он растет при повышении начальной температуры пара. Но при этом для наиболее ответственных деталей установки, испытывающих большие механические нагрузки в сочетании с высокой температурой, приходится применять высококачественные, дорогие стали. Выигрыш в КПД не компенсирует повышенных затрат на металл.

В турбине способ преобразования тепловой энергии пара в механическую энергию состоит в следующем. Пар высокого давления и температуры, имеющий большую тепловую энергию, из котла поступает в сопла турбины. Сопла – это неподвижно укрепленные, не вращающиеся вместе с валом турбины, сделанные из металла каналы, в которых температура и давление пара уменьшаются, а значит, уменьшается и его тепловая энергия, но зато увеличивается скорость движения потока пара. Таким образом, за счет уменьшения тепловой энергии пара возрастает его механическая (кинетическая) энергия. Струя пара с высокой скоростью непрерывно вытекает из сопел и поступает на рабочие лопатки турбины, укрепленные на диске, жестко связанном с валом. Вал, диск и рабочие лопатки вращаются совместно с большой скоростью (3 000 об/мин). Скорость потока пара на рабочих лопатках, его механическая энергия уменьшается следующим образом. Канал между рабочими лопатками криволинеен. Поток пара, проте-

кая по криволинейному каналу, меняет направление и величину скорости. Благодаря центробежной силе он оказывает давление на вогнутые поверхности лопаток. Вследствие этого рабочие лопатки, диск, вал – весь ротор приходит во вращение. При этом механическая энергия потока пара превращается в механическую энергию ротора турбины, а точнее – в механическую энергию турбогенератора, т.к. валы турбины и электрического генератора соединены между собой.

После паровой турбины водяной пар, имея уже низкое давление (около $0,04 \cdot 10^7$ МПа) и температуру $23 - 25$ °С, поступает в конденсатор. Здесь пар с помощью охлаждающей воды, прокачиваемой по расположенным внутри конденсатора трубкам, превращается в воду, которая с помощью насоса снова подается в котел. Цикл начинается заново.

Количество охлаждающей воды должно быть в несколько десятков раз больше, чем количество конденсируемого пара. Поэтому ТЭС строят поблизости от крупных водных источников.

Процесс производства электроэнергии на ТЭС условно можно разделить на три цикла:

- 1) химический – горение, в результате которого внутренняя химическая энергия топлива превращается в тепловую и передается пару;
- 2) механический – тепловая энергия пара превращается в энергию вращения турбины и ротора турбогенератора;
- 3) электрический – механическая энергия превращается в электрическую.

Общий КПД ТЭС равен произведению КПД всех названных циклов:

$$\text{КПД}_{\text{ТЭС}} = \text{КПД}_{\text{хим}} \cdot \text{КПД}_{\text{мех}} \cdot \text{КПД}_{\text{эл}}.$$

Коэффициент полезного действия химического и электрического циклов составляют около 90 %. Коэффициент полезного действия идеального механического цикла определяется закономерностями цикла Карно:

$$\text{КПД}_{\text{мех}} = \frac{T - T^*}{T} \cdot 100 \%,$$

где T и T^* – соответственно температура пара на входе и выходе паровой турбины.

На современных ТЭС $T = 550$ °С (823 К), $T^* = 23$ °С (296 К). При этих температурах пара КПД паровой турбины составляет

$$\text{КПД}_{\text{мех}} = \frac{550 + 273 - 23 - 273}{550 + 273} \cdot 100 \% = 63 \%.$$

Следовательно, КПД конденсационной тепловой электростанции теоретически равен:

$$\text{кпд}_{ТЭС} = 0,9 \cdot 0,63 \cdot 0,9 = 0,5.$$

Практически с учетом потерь КПД КЭС имеет меньшее значение и находится в пределах 36 – 39 %.

ТЭЦ, где осуществляется комплексная выработка электрической и тепловой энергии, обладают КПД в 1,5 – 7 раз выше, достигающим 60 – 65 %. Комплексная выработка электроэнергии и тепла очень выгодна.

2.2.2. Атомные электростанции

Атомная электростанция (АЭС) (рис. 2.7) и атомная теплоэлектростанция (АТЭС) по своей сути также являются тепловыми электростанциями и имеют те же принципиальные схемы.

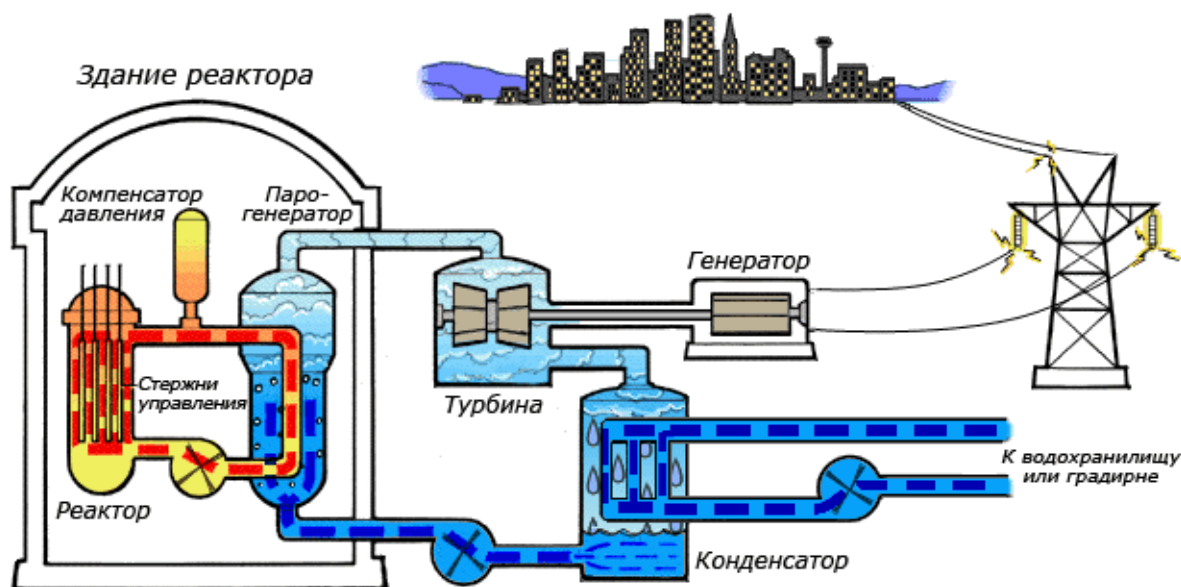


Рис. 2.7. Схема атомной электростанции

Однако вместо котла, где сжигается органическое топливо, используется ядерный реактор. Через активную зону реактора проходит вещество теплоносителя, которое служит для отвода тепла (вода, инертные газы и т.д.). Теплоноситель уносит тепло в парогенератор, отдавая его воде. Образующийся водяной пар поступает в турбину. Таким образом, внутриядерная энергия превращается в тепловую энергию пара, которая затем – в механическую энергию вращения турбогенератора и электрическую энергию. Наличие термодинамического цикла на АЭС ограничивает КПД этой стан-

ции, как и обычных тепловых станций. Недостаток АЭС заключается также в отсутствии маневренности: пуск и останов блоков и агрегатов этих станций требует значительных затрат времени и труда.

2.2.3. Газотурбинные и парогазовые установки

В настоящее время на ТЭС и ТЭЦ наряду с паротурбинными установками получают распространение газотурбинные (ГТУ) и парогазовые установки (ПГУ).

В ГТУ в качестве рабочего тела служит смесь продуктов сгорания топлива с воздухом или нагретый воздух при большом давлении и высокой температуре.

В ГТУ осуществляются следующие преобразования: тепловая энергия газов → кинетическая энергия вращения ротора турбины → электрическая энергия.

По конструктивному исполнению и принципу преобразования энергии газовые турбины не отличаются от паровых турбин. При мощности 25 – 100 тыс. кВт КПД ГТУ составляет 27 – 28 %. Коэффициент полезного действия зарубежных конструкций ГТУ мощностью 100 МВт достигает 31 – 32 %. Важнейшим преимуществом газовой турбины является ее высокая маневренность: время запуска составляет 1 – 1,5 мин. ТЭС с ГТУ более маневренна, чем паротурбинная, легко пускается, останавливается, регулируется. Недостаток ГТУ заключается в том, что газовые турбины работают, в основном, на жидком высокосортном топливе или на газообразном (природный газ). Тем не менее, аналитические исследования перспективных направлений развития мировой энергетики называют ГТУ в числе наиболее прогрессивных преобразователей энергии XXI в.

Принципиальная схема ТЭС с ГТУ представлена на рис. 2.8.

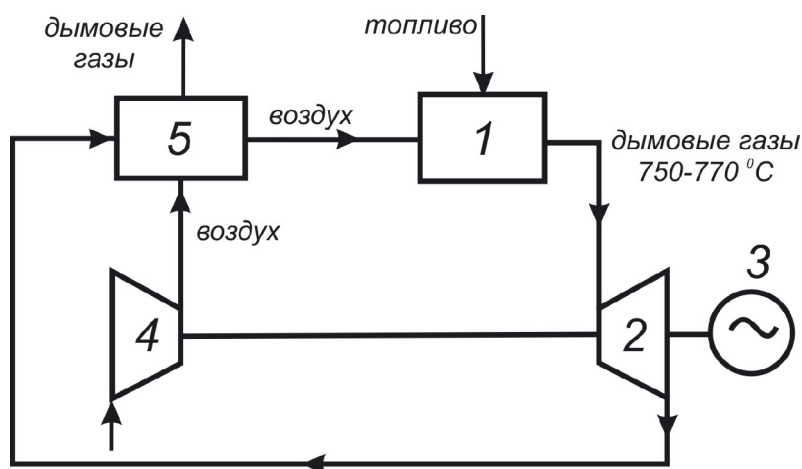


Рис. 2.8. Принципиальная схема ТЭС с газотурбинной установкой (ГТУ)

В камеру сгорания 1 подается жидкое или газообразное топливо и воздух. Образующиеся в ней газы 2 высокого давления при температуре 750 – 770 °С направляются на рабочие лопатки турбины 3. Турбина 3 вращает электрический генератор 4, вырабатывающий электрическую энергию, и компрессор 5, служащий для подачи под давлением воздуха 6 в камеру сгорания. Сжатый в компрессоре 5 воздух 6 перед подачей в камеру сгорания 1 подогревается в регенераторе 7 отработанными в турбине горючими газами 8. Подогрев воздуха позволяет повысить эффективность сжигания топлива в камере сгорания.

Для повышения экономической эффективности использования ГТУ на ТЭС применяют парогазовые установки – совмещение газотурбинных и паротурбинных агрегатов. Они являются высокоманевренными и служат для покрытия пиковых нагрузок в энергосистеме.

Парогазовая установка является бинарной, т.к. в ней используются два рабочих тела: пар и газ. Принципиальная схема ТЭС с парогазовой установкой приведена на рис. 2.9. На ней обозначены: 1 – парогенератор, 2 – компрессор, 3 – газовая турбина, 4 – генератор, 5 – паровая турбина, 6 – конденсатор, 7 – насос, 8 – экономайзер. Экономайзер позволяет отработанные в турбине газы использовать для подогрева питательной воды, что дает возможность уменьшить расход топлива и повысить КПД до 44 %.

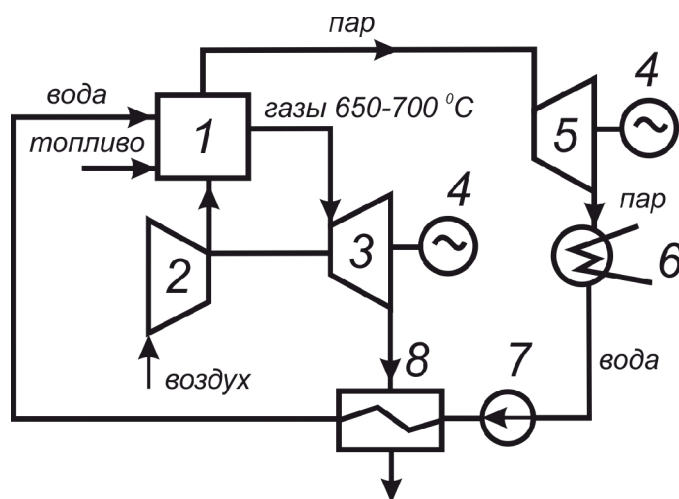
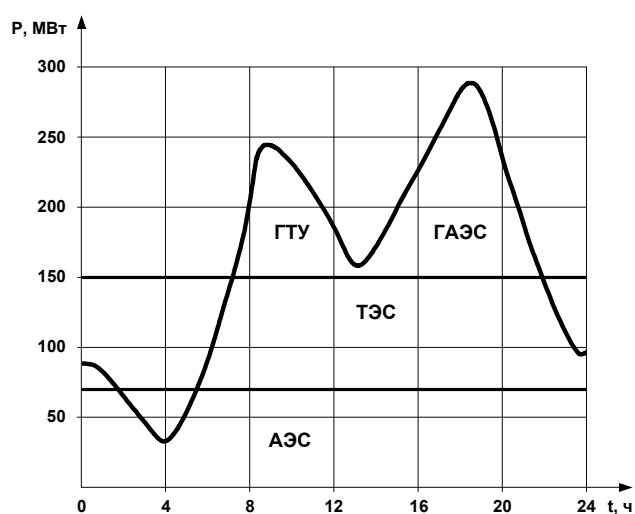


Рис. 2.9. Принципиальная схема ТЭС с парогазовой установкой (ПГУ)

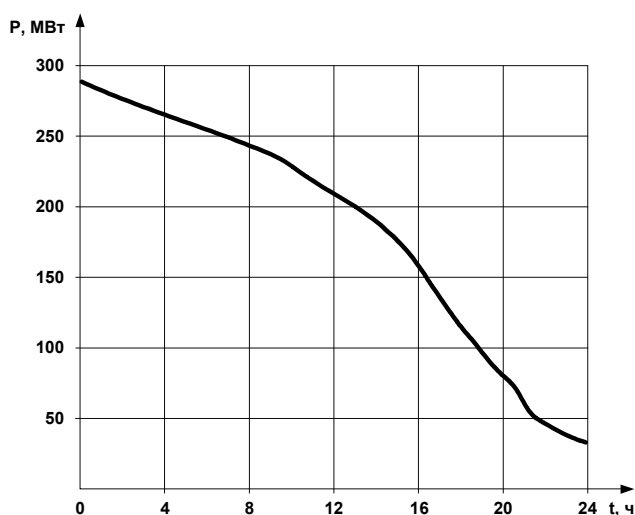
2.3. Графики электрических и тепловых нагрузок

Потребление тепловой и электрической энергии происходит неравномерно в течение суток, недели, года. Это связано с особенностью работы промышленных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных потреби-

телей, электротранспорта. Характер изменения потребления энергии удобно представлять в виде графиков тепловой и электрической нагрузок. График нагрузки – зависимость потребляемой мощности от промежутка времени. Различают *хронологические* (календарные) *графики* и *графики продолжительности нагрузок* (рис. 2.10). Первый, с характерными максимумами и минимумами, отражает последовательность изменения нагрузки во времени. Второй показывает продолжительность времени, в течение которого имеются те или иные нагрузки. Например, минимальная нагрузка имеет место в течение всех 24 ч суток. Кроме суточных графиков, строят также недельные, месячные и годовые графики нагрузок.



a



б

Рис. 2.10. Суточные хронологический график (*a*) и график продолжительности (*б*) нагрузки

Суточный график нагрузки района или города складывается из графиков нагрузки множества отдельных потребителей и отражает изменение во времени суммарной мощности всех потребителей района или города, имеет минимумы – провалы и максимумы – пики. Значит, в одни часы суток требуется большая суммарная мощность генераторов, в другие – часть генераторов или электростанций должна быть отключена или работать с меньшей нагрузкой.

Из графиков нагрузки отдельных потребителей складывается суммарный график потребления для энергосистемы страны, так называемая национальная кривая нагрузки. Задача энергосистемы состоит в обеспечении этого графика. Количество электростанций в энергосистеме страны, их установленная мощность определяются относительно непродолжительным максимумом национальной кривой нагрузки. Это приводит к недоиспользованию оборудования, удорожанию энергосистем, росту себестоимости вырабатываемой электроэнергии.

Кардинально изменить характер потребления электрической и тепловой энергии весьма сложно. Более того, объективно существует тенденция роста неравномерности энергопотребления в силу перспективы увеличения доли коммунально-бытовой нагрузки.

Отсюда вытекают важнейшие цели энергетического менеджмента:

- обеспечение графиков нагрузки;
- выравнивание национальной кривой нагрузки.

Рассмотрим возможности и пути достижения указанных целей.

Обеспечить график нагрузки означает организовать бесперебойную подачу электроэнергии в часы максимального потребления, а в часы минимума потребления энергии не допускать разгрузки той части генерирующего оборудования, для которой это приводит к существенному сокращению сроков работы, иметь в энергосистеме оборудование, обладающее высокой маневренностью (ГТУ, ГАЭС и т.п.), и энергоаккумулирующие установки.

Таким образом, чтобы обеспечить неравномерные графики нагрузки, электроэнергетические системы должны быть достаточно маневренными, т.е. способными быстро изменять мощность электростанций.

В промышленно развитых странах большая часть электроэнергии, около 80 %, вырабатывается на ТЭС, для которых наиболее желателен равномерный график нагрузки. На агрегатах этих станций невыгодно производить регулирование мощности. Обычные паровые котлы и турбины тепловых станций допускают изменение нагрузки на 10 – 15 %. Периодические включения и отключения ТЭС не позволяют решить за-

дачу регулирования мощности из-за большой продолжительности (часы) этих процессов. Работа крупных ТЭС в резко переменном режиме нежелательна, т.к. приводит к повышенному расходу топлива, износу теплового оборудования и снижению его надежности. Еще более нежелательны переменные режимы для АЭС. Поэтому ТЭС и АЭС работают в режиме так называемых базовых электростанций, покрывая неизменяющуюся постоянную нагрузку энергосистемы, т.е. базовую часть графика нагрузки.

Дефицит в маневренных мощностях, т.е. пиковые и полупиковые нагрузки энергосистемы покрываются ГТУ или парогазовыми установками на ТЭС, ГАЭС, ГЭС, у которых набор полной мощности от нуля можно произвести за 1 – 2 мин.

Комплексное применение базовых и пиковых энергоустановок позволяет наиболее эффективно использовать первичную энергию топлива, т.к. они работают в оптимальном режиме покрытия нагрузок с максимальным КПД.

Решение задачи выравнивания национальной кривой нагрузки связано с разработкой и реализацией политики управления спросом на энергию. Управление спросом на энергию может осуществляться как социально-экономическими, так и техническими мероприятиями и средствами.

Действенными экономическим инструментом являются дифференцированные тарифы (цены) на электрическую и тепловую энергию: в периоды максимумов нагрузки тарифы выше, что стимулирует потребителей к перестройке работы с целью уменьшения потребления в часы максимума нагрузки энергосистемы.

Эффективной технической мерой выравнивания графиков нагрузок служит аккумуляция различных видов энергии. Идея заключается в том, что в часы провала нагрузки следует запасать электроэнергию, а в часы максимума – использовать ее.

Таким образом, можно определить три конкретные задачи энергетического менеджмента:

1. Оптимизация структуры генерирующих мощностей, т.е. рациональный выбор числа, видов, установленной мощности электрических станций.

2. Разработка и использование системы социально-экономических мероприятий, стимулирующих потребителя к уменьшению потребления энергии в часы максимумов нагрузки энергосистемы.

3. Разработка и внедрение способов и устройств аккумуляции энергии.

Контрольные вопросы

1. Как называются устройства для сжигания топлива и как они классифицируются?
2. Запишите уравнение теплового баланса топки.
3. Какова особенность сжигания топлива в слоевых и камерных топках? Какие виды топлива в них можно сжигать?
4. Назовите энергетические характеристики топок.
5. К каким агрегатам, установкам и устройствам принадлежат топки?
6. Опишите принцип работы современного парового котла.
7. Чем отличаются котельные установки от промышленных печей?
8. Что такое тепловая машина? Каков принцип ее действия? От чего зависит КПД тепловой машины?
9. Какие виды электростанций вы знаете?
10. Назовите виды тепловых электростанций, объясните их принципиальные отличия друг от друга.
11. Какова принципиальная схема атомной электростанции. Каково ваше мнение о целесообразности строительства АЭС в Беларуси? Аргументируйте свой ответ.
12. Что такое газотурбинная установка? Назовите области ее применения.
13. Что такое парогазовая установка? Укажите ее преимущества.
14. Что такое графики нагрузки? Какие они бывают и зачем нужны? Чем вызвана неравномерность графиков нагрузки? Какие задачи энергетического менеджмента связаны с графиками нагрузок?
15. Назовите энергоустановки, которые могут обеспечить покрытие пиковых и полупиковых нагрузок в энергосистеме. Объясните принцип действия одной из них.

Тема 3

ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

3.1. Потенциал возобновляемых источников энергии

Возобновляемый энергетический ресурс – постоянно действующие или периодически возникающие потоки энергии в результате естественных природных процессов.

В соответствии с прогнозами Мировой энергетической комиссии о перспективах использования возобновляемых источников энергии главенствующую роль занимает биомасса (табл. 3.1). Такая тенденция характерна и для Беларуси. Кроме биомассы, в нашей стране к перспективным возобновляемым источникам энергии относятся гидроэнергия, энергия ветра и Солнца. Хотя в Беларуси имеются и термальные воды с уровнем температур порядка 50 °С, которые являются проявлением энергии Земли, они как источник энергии в настоящее время не рассматриваются, поскольку представляют собой рассолы с большой концентрацией солей.

Таблица 3.1

Оценка возможной доли возобновляемых источников энергии в мире

	2020 г. (min)		2020 г. (max)	
	млн т у.т.	% к итогу	млн т у.т.	% к итогу
Биомасса	350	47	800	43
Солнечная энергия	150	20	510	28
Энергия ветра	120	16	310	17
Геотермальная энергия	60	8	130	7
Малые и мини-ГЭС	70	9	100	5
Итого	750	100	1850	100
Процент общих энергетических потребностей		3 – 4		8 – 12

При планировании энергетики на возобновляемых источниках важно учесть их **особенности** по сравнению с традиционными невозобновляемыми. К ним относятся следующие:

1. *Периодичность действия в зависимости от не управляемых человеком природных закономерностей* и, как следствие, колебания мощности возобновляемых источников – от крайне нерегулярных, как у ветра, до строго регулярных, как у приливов.

2. *Низкие, на несколько порядков ниже, чем у невозобновляемых источников, плотности потоков энергии и рассеянность их в пространстве.* Например, в паровых котлах она равна 100 кВт/м², в ядерных реакторах –

2 – 5 МВт/м², а для солнечного излучения и ветра со скоростью, приблизительно равной 10 м/с, она составляет 1 кВт/м². Поэтому энергоустановки на возобновляемых источниках эффективны при небольшой единичной мощности, прежде всего для сельских районов.

3. *Применение возобновляемых ресурсов эффективно лишь при комплексном подходе к ним.*

4. *Экономическую целесообразность использования того или иного источника возобновляемой энергии следует определять в зависимости от природных условий, географических особенностей конкретного региона, с одной стороны, и в зависимости от потребностей в энергии для промышленного, сельскохозяйственного производства, бытовых нужд, с другой. Рекомендуется планировать энергетику на возобновляемых источниках для районов размером примерно 250 км².*

Необходимость и возможность развития энергетики на возобновляемых источниках в Беларуси обусловлены:

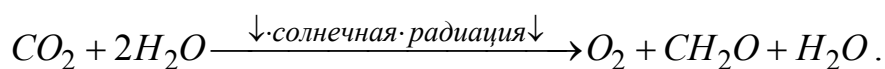
- дефицитом традиционных невозобновляемых источников энергии;
- благоприятными метеоклиматическими условиями для использования некоторых видов возобновляемых источников энергии;
- наличием промышленной базы для производства оборудования.

3.2. Биоэнергетика

Биомасса – сложный комплекс веществ, из которых состоят растения и животные.

Основа биомассы – органические соединения углерода, которые в процессе соединения с кислородом при сгорании или в результате естественного метаболизма (превращение определенных веществ внутри клетки до конечных продуктов) выделяют тепло.

Первоначальная энергия биомассы возникает в процессе фотосинтеза под действием солнечного излучения. В обобщенном виде эту реакцию можно представить следующим образом:



Существуют различные энергетические **способы** переработки биомассы:

- термохимические (прямое сжигание, пиролиз, газификация);
- биохимические (анаэробная или аэробная переработка, спиртовая ферментация, биофотолиз);
- агрохимические (экстракция топлива).

Получаемые в результате переработки биомассы виды биотоплива и ее КПД приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Источники биомассы и примеры переработки

Источник биомассы	Производимое биотопливо	Технология переработки	КПД переработки, %
Лесоразработки	теплота	сжигание	70
Отходы переработки древесины	теплота	сжигание пиролиз	70
	газ		85
	нефть уголь		
Зерновые	солома	сжигание	70
Сахарный тростник, сок	этанол	сбраживание	80
Сахарный тростник, отходы	жмых	сжигание	65
Навоз	метан	анаэробное разложение	50
Городские стоки	метан	анаэробное разложение	50
Мусор	теплота	сжигание	50

3.2.1. Термохимические методы переработки биомассы

Сжигание отходов в котлах и печах специальных конструкций. В мире сотни миллионов тонн таких отходов сжигаются с регенерацией энергии. Прессованные брикеты из бумаги, картона, древесины, полимеров по теплотворной способности сравнимы с бурным углем. Например, на Поставском льнозаводе освоена японская технология производства теплосжигательных брикетов из отходов переработки льна, которые по теплоотдаче не уступают каменному углю.

Пиролиз – процесс нагревания биомассы либо в отсутствие воздуха, либо за счет сгорания некоторой ее части при ограниченном доступе воздуха или кислорода. Коэффициент полезного действия процесса пиролиза достигает 80 – 90 %.

В качестве исходного энергетического продукта в процессе пиролиза могут быть: органическое топливо, древесные отходы, сельскохозяйственные отходы, биобрикеты и т.д.

Состав получаемых при этом вторичных энергетических продуктов чрезвычайно разнообразен. Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза (газы, жидкости, масла, древесный уголь), имеют несколько меньшую по сравнению с исходной биомассой суммарную энергию сгора-

ния, но обладают большей универсальностью применения: лучшей управляемостью процесса горения; более широким диапазоном возможных потребителей и, соответственно, более высокими экономическими и качественными показателями.

Газификация – способ ведения процесса пиролиза, при котором основным энергетическим продуктом является горючий газ.

Газогенератор – устройство, в котором реализуется процесс газификации (рис. 3.1). В состав образующегося в газогенераторе генераторного газа входят следующие горючие компоненты: окись углерода, водород, газообразные углеводороды, метан.

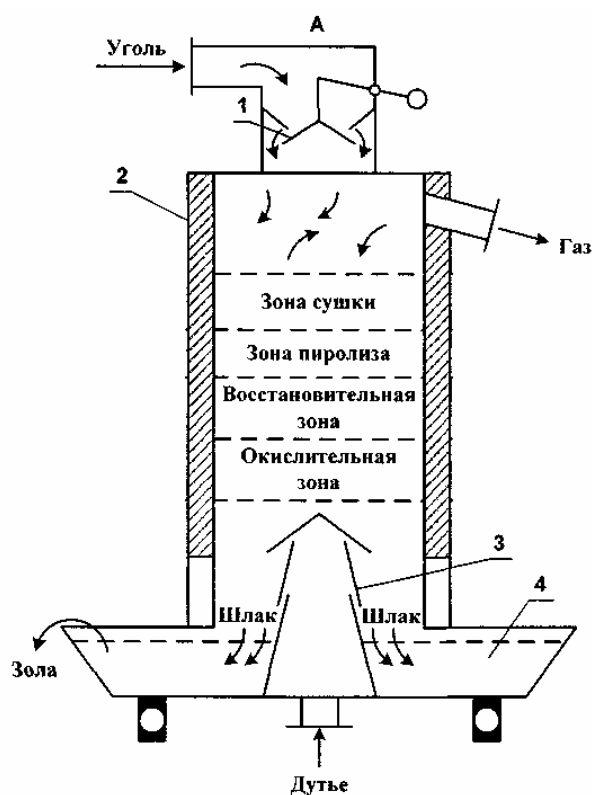
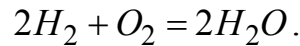
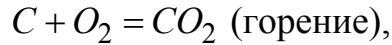


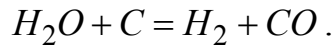
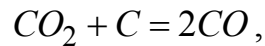
Рис. 3.1. Устройство слоевого газогенератора:

- 1 – затвор; 2 – корпус газогенератора; 3 – колосниковая решетка;
- 4 – чаша для отвода золы

Процесс газификации включает следующие последовательные фазы: сушку, пиролиз (коксование) и собственно газификацию топлива. В зоне пиролиза при температуре до 800 °С от топлива отделяются легкие газообразные фракции, самой важной из которых является метан CH_4 . Закоксованное в зоне пиролиза топливо сначала реагирует с кислородом, находящимся в свежем воздухе, образуя двуокись углерода и водяной пар:



В зоне газификации при температуре свыше 900 °С CO_2 и H_2O продолжают реагировать с углеродом, образуя окись углерода и водород, которые являются активно горящими газами:



Верхняя граница температуры прохождения реакции газогенерации ограничена значениями 1 100 – 1 200 °С (температура плавления золы).

3.2.2. Биохимические методы переработки биомассы

Анаэробное разложение – процесс получения энергии из биомассы микроорганизмами (анаэробными бактериями) в отсутствие или при недостатке кислорода и света. Полезный энергетический продукт этого процесса – биогаз.

Биогаз – смесь горючих газов (примерный состав: метан – 55 – 65 %, углекислый газ – 35 – 45 %, примеси азота, водорода, кислорода и сероводорода).

Биогазогенератор – устройство, в котором реализуется процесс преимущественного получения метана посредством анаэробного разложения исходной биомассы.

Получить тепловую энергию можно при **аэробном микробиологическом окислении** органических веществ. Так по научному называется компостирование и биоподогрев, о чем знает каждый огородник.

Спиртовая ферментация – процесс получения этилового спирта в качестве энергетического продукта. Этиловый спирт (этанол) C_2H_5OH – летучее жидкое топливо, которое можно использовать вместо бензина.

В естественных условиях этанол образуется из сахаров соответствующими микроорганизмами в кислой среде (рН от 4 до 5).

Основная реакция превращения сахарозы в этанол имеет следующий вид:



Жидкие топлива, и в частности этанол, отличаются чрезвычайной технологической эффективностью из-за удобства использования и хорошего управления процессом горения в двигателях внутреннего сгорания.

В качестве заменителя бензина этанол можно использовать в виде:

- 95 %-ного этанола в модернизированных двигателях;
- смеси 100 %-ного (обезвоженного) этанола с бензином в соотношении один к десяти в традиционных двигателях.

В настоящее время стоимость топливного этанола сравнима со стоимостью бензина, причем наблюдается тенденция ее снижения. Вместе с тем этанол характеризуется более высоким октановым числом.

Фотоллиз – процесс разложения воды на водород и кислород под действием света. Если водород сгорает или взрывается в качестве топлива при смешении с воздухом, то происходит рекомбинация кислорода и водорода.

Некоторые биологические организмы продуцируют или могут при определенных условиях продуцировать водород путем **биофотоллиза**.

Подобный результат можно получить химическим путем без участия живых организмов в лабораторных условиях. Промышленного внедрения эти технологии еще не получили.

3.2.3. Агрохимические методы переработки биомассы

Экстракция топлив – процесс получения жидких или твердых топлив прямо от растений или животных.

Продукцию живых растений можно разделить на следующие категории:

- семена – подсолнечник с массовым содержанием масла до 50 %;
- орехи – пальмовое масло;
- плоды – оливки;
- листья – эвкалипт с массовым содержанием масла до 25 %;
- сок растений – сок каучука;
- переработка отходов растений – масла и растворители до 15 % сухой массы (например, скипидар, канифоль, маслянистые смолы и т.д.).

Возможна организация ферм по производству агрохимических топлив на основе перечисленных выше живых растений. Вместе с тем, получаемые таким образом продукты по своим химическим свойствам могут быть гораздо ценнее, чем просто топливо.

В связи с этим более предпочтительным представляется способ получения агрохимических топлив, который основан на культивировании специализированных микроводорослей. Так, в сухих клетках зеленой расы микроводоросли «ботриококкус браунии» содержится от 1 до 36 % углеводов, а в сухих клетках коричневой расы – до 86 %. Предполагается, что залежи нефти обязаны своим происхождением предкам именно этих водорослей.

В условиях Беларуси развитие биоэнергетики наиболее экономически целесообразно и технически осуществимо, т.к. биомасса – вид топлива, которого у нас с избытком (древесная кора, стружки, опилки, мусор) и не использовать который было бы непростительной ошибкой.

3.3. Малая гидроэнергетика

В настоящее время энергия воды используется для производства электрической энергии. К нетрадиционной энергетике относят мини-ГЭС и малые ГЭС с установленной мощностью от 2 кВт до 25 МВт (от 100 кВт до 30 МВт), для которых во многих странах производится стандартизованное оборудование.

Источником гидроэнергии является преобразованная энергия солнца в виде запасенной потенциальной энергии воды, которая затем под воздействием гравитации преобразуется в механическую работу и электроэнергию. Под действием солнечного излучения вода испаряется с поверхности озер, рек, морей и океанов. Пар поднимается в верхние слои атмосферы, образуя облака, затем он, конденсируясь, выпадает в виде дождя, пополняя запасы воды в водоемах.

Максимальная мощность N (Вт), развиваемая потоком падающей воды без учета потерь напора,

$$N = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q,$$

где ρ – плотность, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

H – напор, м;

Q – объемный расход потока, м³/с.

Преобразование потенциальной энергии воды в электрическую энергию проводится на гидроэлектростанции, схема которой приведена на рис. 3.2.

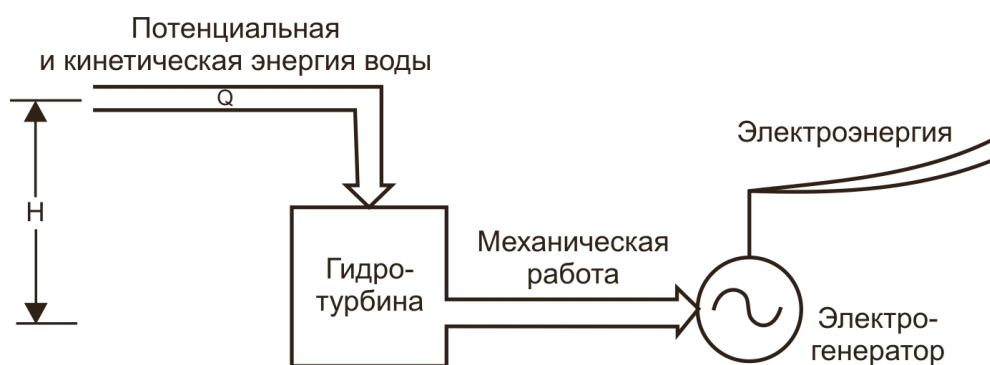


Рис. 3.2. Схема гидроэлектростанции

Поддержание постоянного напора H осуществляется с помощью плотины, которая образует водохранилище, служащее аккумулятором гидроэнергии. В связи с этим при строительстве ГЭС предъявляются определенные требования к рельефу местности, который должен позволить организовать водохранилище и создать требуемый напор за счет плотины. Все это связано со значительными затратами, и стоимость строительных работ может превышать стоимость оборудования ГЭС. Однако в дальнейшем удельная стоимость электроэнергии, генерируемой ГЭС, является самой низкой по сравнению с другими источниками. Как правило, срок окупаемости малых ГЭС не превышает 10 лет.

Для преобразования энергии воды в механическую работу используются *гидротурбины*.

Различают активные и реактивные гидротурбины.

В *активной турбине* кинетическая энергия потока преобразуется в механическую энергию.

Схема работы активной турбины Пелтона представлена на рис. 3.3, а. Дополнительные устройства, обеспечивающие работу турбины, – водовод и сопло. Из сопла выходит струя, обладающая кинетической энергией, которая направляется на лопасти турбины, находящейся в воздухе. Сила, действующая со стороны струи на лопасти, приводит во вращение колесо турбины, с валом которого непосредственно или через привод сопряжен электрогенератор.

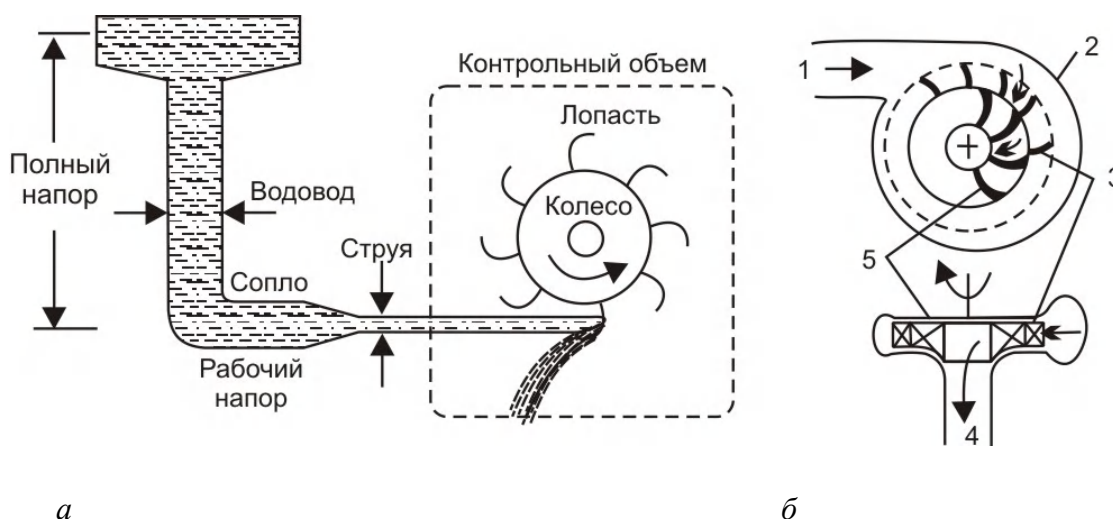


Рис. 3.3. Схемы активной (а) и реактивной радиально-осевой (б) гидротурбин:
1 – вход; 2 – спиральная камера; 3 – неподвижные лопатки направляющего аппарата; 4 – выход; 5 – вращающиеся лопатки

В реактивной гидротурбине рабочее колесо полностью погружено в поток, который постоянно воздействует на лопасти турбины. На рис. 3.3, б представлена наиболее распространенная турбина Фрэнсиса. Вращение колеса осуществляется за счет разности давлений потока на входе и выходе. Вода поступает в рабочее колесо радиально. Зазор между рабочим колесом и камерой переменный. После взаимодействия потока с колесом он разворачивается на 90° .

Полный кпд гидроэлектростанции определяется потерями в водоводе и в каналах, турбине и генераторе. Рабочий напор H_p определяется по соотношению

$$H_p = H_n - H_f,$$

где H_n – полный напор;

H_f – потери на трение в водоводах и каналах. Рекомендуется, чтобы $H_f \leq H_n/3$.

В общем случае полный кпд гидроэлектростанции определяется по соотношению

$$\eta = \frac{N_{\text{э}}}{N} = \frac{H_p}{H_n} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{э}},$$

где $N_{\text{э}}$ – мощность, снимаемая с клемм электрогенератора;

$\eta_{\text{мех}}$ – механический кпд турбины;

$\eta_{\text{э}}$ – электрический кпд генератора.

Коэффициент полезного действия современных турбогенераторов не превышает 86 %.

Строительство первых ГЭС началось еще в прошлом веке, когда они предназначались для энергоснабжения отдельных заводов и поселков. Затем темпы из строительства замедлились из-за конкуренции небольших тепловых электростанций. Второй этап массового строительства малых ГЭС пришелся на конец 40-х – начало 50-х годов, когда тысячи малых гидростанций строились колхозами, совхозами, предприятиями и государством. В 70 – 80-х годах сотни и тысячи малых ГЭС были выведены из эксплуатации либо законсервированы, либо ликвидированы из-за быстрого развития большой энергетики на базе крупных тепловых и атомных станций. На третьем витке возрождение малых ГЭС происходит на новом техническом уровне основного энергетического оборудования, степени автоматизации и компьютеризации.

В начале 60-х годов в Беларуси действовало 179 ГЭС общей установленной мощностью 21 МВт. Однако по мере развития централизован-

ной энергосистемы и подключения к ней сельскохозяйственных потребителей большинство ГЭС было выведено из эксплуатации, а их оборудование демонтировано. Работали лишь две самые крупные с установленной мощностью 3,7 МВт. Изменение в начале 90-х годов социально-экономических условий вновь привлекло внимание к проблеме вовлечения гидроэнергоресурсов в энергобаланс страны. В период с 1993 по 2001 гг. были восстановлены 10 ГЭС. Мощность всей действующих ГЭС составляет приблизительно 1 % от возможного для технического использования гидропотенциала, который равен 30 % от мощности 850 МВт, учитываемых водотоков Беларуси. В настоящее время в Беларуси действует 21 малая ГЭС суммарной установленной мощностью около 10 МВт. Наиболее значительный объем электроэнергии может быть получен при строительстве каскада ГЭС на многоводных реках Западная Двина и Неман.

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 г. в качестве основных направлений развития малой гидроэнергетики предусматривает:

- восстановление ранее существовавших малых ГЭС путем капитального ремонта и обновления оборудования;
- сооружение новых ГЭС на водохранилищах неэнергетического назначения без затопления, промышленных водосбросах;
- сооружение бесплотинных (русловых) ГЭС на реках со значительными расходами воды.

Единичная мощность гидроагрегатов будет находиться в диапазоне от 50 до 500 кВт, а общая дополнительная мощность предусмотренных планом восстановления и строительства до 2010 г. 29 ГЭС будет составлять 6,9 МВт.

В современных условиях Беларуси использование энергии течения рек представляется перспективным путем решения проблемы уменьшения зависимости энергетики республики от импорта топлива, что также будет способствовать улучшению экологической обстановки.

3.4. Ветроэнергетика

Энергия ветра на Земном шаре оценивается в 175 – 219 тыс. ТВт ч в год. Это примерно в 2,7 раза больше суммарного расхода энергии на планете. Постоянные воздушные течения к экватору со стороны северного и южного полушарий образуют систему пассатов. Существуют периодические движения воздуха с моря на сушу и обратно в течение суток (бризы) и года (муссоны). Полезно может быть использовано лишь 5 % указанной величины энергии ветра. Используется же значительно меньше.

Наиболее эффективным способом утилизации энергии ветра является производство электрической энергии на *ветроэнергетических установках (ВЭУ)*.

Основными элементами ВЭУ являются ветровое колесо, электрогенератор, система управления параметрами генерируемой электроэнергии в зависимости от изменения силы ветра и скорости вращения ветрового колеса. В ВЭУ кинетическая энергия движения воздуха превращается в энергию вращения ротора генератора, который вырабатывает электроэнергию. Введение в состав ВЭУ системы управления параметрами генерируемой энергии связано с необходимостью удовлетворения требованиям к частоте и напряжению вырабатываемой электроэнергии в зависимости от особенностей ее потребителей. Так как периоды безветрия неизбежны, то, для исключения перебоев в электроснабжении, ВЭУ должны иметь аккумуляторы электрической энергии или подключаться параллельно с электроэнергетическими установками других типов.

Ветровые установки классифицируются по двум основным признакам – геометрии ветрового колеса и ориентации оси вращения ветрового колеса относительно направления ветра.

Запас энергии воздушных потоков (или ветровой потенциал) характеризуется, в первую очередь, устойчивыми значениями скорости ветра на уровне размещения ветрового колеса.

Для определения локальных значений скорости ветра на определенной высоте используется соотношение

$$U_Z = U_{10} \cdot (Z/10)^b,$$

где U_Z – скорость ветра на определяемой высоте Z ;

U_{10} – стандартное значение скорости ветра для данной местности на высоте флюгера 10 м;

b – параметр соотношения, зависящий от времени года и рельефа местности (для открытых мест $b \approx 0,14$).

Мощность N , развиваемая ВЭУ при скорости ветра U на уровне оси ветрового колеса, определяется из соотношения

$$N = c_N \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot U^3}{2},$$

где c_N – коэффициент мощности, характеризующий эффективность использования ветровым колесом энергии ветрового потока и зависящий от конструкции ветрового колеса;

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \text{площадь, покрываемая лопастями ветрового колеса диа-$$

метром D при его вращении (для горизонтально-осевых ветроколес) или $S = h \cdot b$ – площадь лобового сопротивления (для вертикально-осевых ветроколес), h – высота ротора, b – средний диаметр ротора;

ρ – плотность воздуха;

U – усредненное значение скорости ветра на уровне оси ветрового колеса.

При проектировании ВЭУ учитываются максимально возможные для данной местности порывы ветра. Для защиты от разрушения сильными случайными порывами ветра установки проектируются со значительным запасом прочности. Крупномасштабное применение ВЭУ в каком-то одном районе может вызвать значительные климатические изменения, испортить ландшафт. ВЭУ создают шум и электромагнитные помехи.

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 г. основными направлениями использования ветроэнергетических ресурсов на ближайший период предусматривает их применение для привода насосных установок и в качестве источников энергии для электродвигателей. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями к качеству электрической энергии, что позволяет резко упростить и удешевить ВЭУ. Особенно перспективным считается их использование в сочетании с малыми гидроэлектростанциями для перекачки воды.

Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра. На четверти пригодной для внедрения ВЭУ территории среднегодовая скорость ветра превышает 5 м/с. Такая скорость ветра соответствует требованиям мировой практики по показателям коммерческой целесообразности внедрения ветротехники. Наиболее эффективно можно применять ВЭУ на возвышенностях большей части севера и северо-запада Беларуси и в центральной части Минской области.

На территории Беларуси выявлено 1 840 площадок для размещения ВЭУ с теоретически возможным энергетическим потенциалом 1 600 МВт. Технически возможное и экономически целесообразное использование потенциала ветра не превысит 5 % от установленной мощности электростанций энергосистемы, т.е. может составить 300 – 350 МВт.

Одним из высокоприоритетных белорусских национальных проектов, включенных в Мировую солнечную программу на 1996 – 2005 гг., является создание двух экспериментальных промышленных ВЭУ мощностью 1,5 МВт каждая.

3.5. Гелиоэнергетика

Энергия Солнца – практически неисчерпаемый источник. Огромная энергия образуется на Солнце за счет синтеза легких элементов – водорода и гелия.

Известно *два направления* использования солнечной энергии:

- преобразование солнечной энергии в тепловую и использование в нагревательных системах;
- преобразование солнечной энергии в электрическую.

3.5.1. Горячее водоснабжение

Простейшим накопителем энергии в форме теплоты является емкость, заполненная водой (рис. 3.4, а, б). Если емкость не изолирована и открыта – эффективность аккумулирования тепла наименьшая, если она закрытая и установлена на теплоизолирующей площадке – эффективность будет выше.

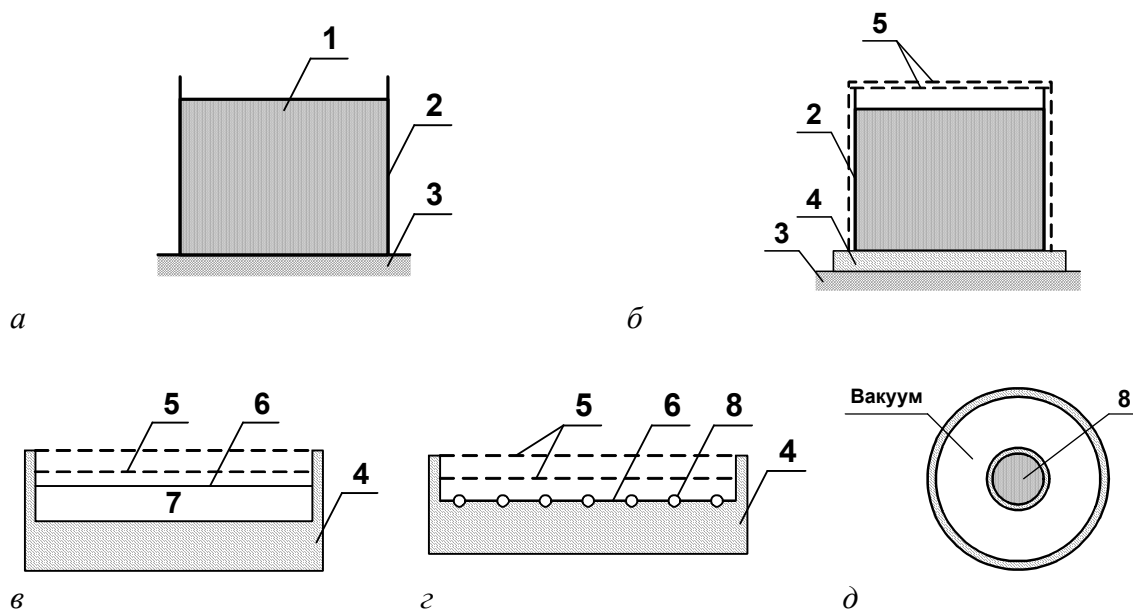


Рис. 3.4. Схемы неизолированной (а) и изолированной (б) емкостей с водой для приема солнечного излучения, плоских солнечных коллекторов систем воздушного (в) и водяного (г) теплоснабжения и вакуумированного теплоприемника (д):

1 – вода; 2 – бак; 3 – грунт; 4 – теплоизоляция; 5 – стекло; 6 – лучепоглощающая поверхность теплообмена; 7 – канал для воздуха; 8 – каналы для воды

Для повышения производительности солнечной установки используется замкнутый контур с естественной или принудительной циркуляцией, который содержит солнечный коллектор (теплоприемник) 1 и аккумулирующую теплоизолированную емкость 2 (рис. 3.5). В системах горячего

водоснабжения и отопления используются плоские солнечные коллекторы, представляющие собой теплообменные аппараты с каналами, через которые проходит теплоноситель (рис. 3.4, в, г). Часть солнечной радиации поглощается поверхностью теплообмена и передается теплоносителю.

Качество изоляции и расположение коллектора по отношению к горизонту влияют на температуру теплоносителя. Неизолированный коллектор позволяет нагреть воду до 50 °С. Изолированный коллектор имеет многослойное остекление, пропускающее солнечные лучи, и позволяет нагреть воду до 90 °С. Если использовать вакуумные трубки (рис. 3.5, д), то температура воды может составлять ~150 °С. Плоский коллектор поглощает прямое и рассеянное солнечное излучение. Оптимальный угол расположения коллектора к горизонту превышает широту местности на 10 – 15°. Географическая широта Минска – 55°. Исследования показывают, что с учетом экономического фактора для широты Минска целесообразно использовать сезонные солнечные системы горячего водоснабжения.

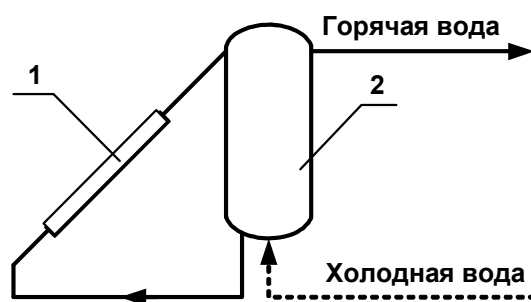


Рис. 3.5. Принципиальная схема простейшей одноконтурной солнечной водонагревательной установки с естественной циркуляцией теплоносителя:

1 – солнечный коллектор; 2 – аккумулятор тепла

3.5.2. Солнечное отопление

Солнечное отопление делится на активное и пассивное.

Активное отопление основано на применении инженерных систем, которые, как и системы горячего водоснабжения, включают контур циркуляции жидкого теплоносителя или воздуха. На практике жидкостные системы солнечного отопления встречаются чаще, чем воздушные, однако они требуют наличия отопительных приборов и дополнительных мер для защиты от замерзания и коррозии.

Простейшая схема воздушного отопления показана на рис. 3.6. В солнечный день переключатель 4 находится в положении, при котором воздух циркулирует по замкнутому контуру через коллектор 1 и галечный аккумулятор 2 с помощью вентилятора 3. Вечером или в прохладный день переключатель устанавливается в положение, при котором поток холодного воздуха про-

ходит через аккумулятор и поступает в отапливаемое помещение, при необходимости дополнительно нагреваясь с помощью резервного нагревателя 5.

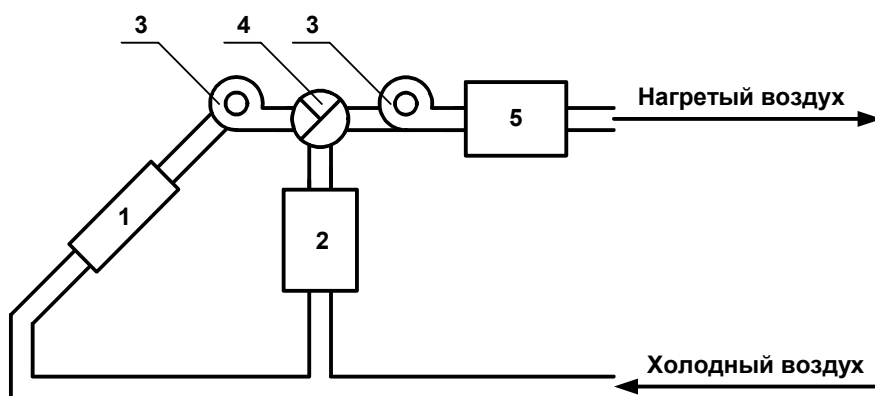


Рис. 3.6. Схема воздушной системы солнечного отопления:
1 – коллектор; 2 – галечный аккумулятор; 3 – вентилятор; 4 – переключатель;
5 – резервный источник энергии

Пассивные системы солнечного отопления используют ориентированные в южном направлении остекленные элементы строительных конструкций больших площадей для накопления и переноса тепла потребителю. Другой подход включает строительство зданий с теплоаккумулирующей стеной, расположенной за остеклением. Большая тепловая инерционность строительных стеновых материалов позволяет использовать накопленное тепло в пасмурные дни и ночное время. Стены также могут являться пассивными солнечными коллекторами, если они будут включать конвективные каналы. Для примера на рис. 3.7 представлены простейшие варианты систем пассивного солнечного отопления.

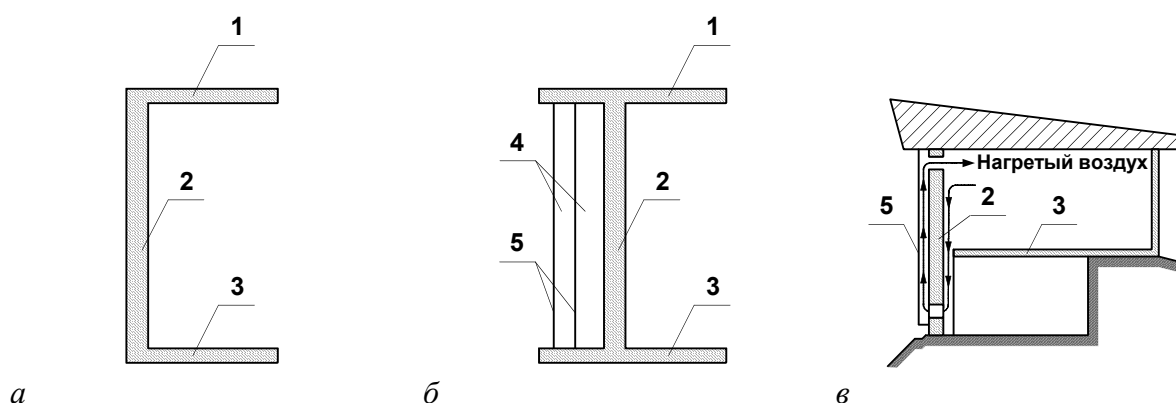


Рис. 3.7. Обычный дом (а) и дома с пассивными солнечными системами отопления без циркуляции воздуха (б) и с циркуляцией воздуха (в):
1 – здание; 2 – стена; 3 – пол; 4 – воздушная прослойка; 5 – стекло

Пассивные солнечные теплоиспользующие системы имеют наименьшую стоимость для вновь строящихся зданий и такой же срок службы, как и само здание, при низких эксплуатационных расходах.

3.5.3. Получение электроэнергии

Преобразование потока солнечной энергии в электричество осуществляется двумя способами: термомеханическим и фотоэлектрическим.

Термомеханический способ (непрямое преобразование солнечной энергии) основан на передаче теплоты теплоносителю с выработкой пара и дальнейшим ее преобразованием по традиционной схеме в механическую и электрическую энергию. Для создания больших плотностей потоков тепла используются солнечные концентраторы параболического (рис. 3.8) или сферического типа, которые сфокусированы на поверхность теплоприемника. Применительно к представленной на рис. 3.8 конструкции теплоприемником является канал, по которому течет теплоноситель. В отличие от плоских коллекторов, данные конструкции поглощают только прямое солнечное излучение и снабжаются системами, следящими за Солнцем.

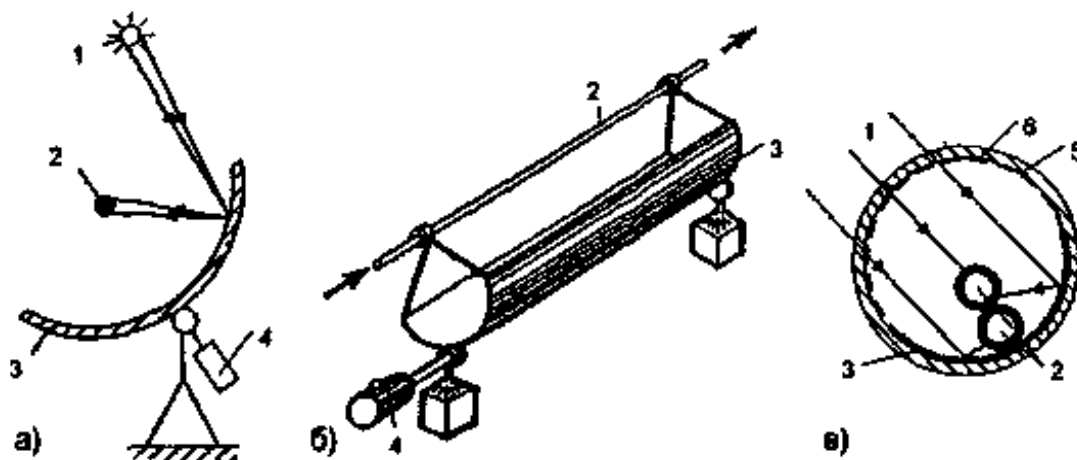


Рис. 3.8. Схемы солнечных коллекторов с концентраторами. Сечение параболического концентратора (а) и его общий вид (б), концентратор с вакуумной трубой (в):

1 – Солнце (солнечные лучи); 2 – теплоприемник; 3 – концентратор; 4 – следящее устройство; 5 – вакуумная труба; 6 – селективное покрытие

Теплоприемник с теплоносителем может располагаться отдельно от концентратора. Тогда на нем фокусируются солнечные лучи от концентраторов, размещенных на большой площади. Например, по такому принципу работают солнечные электростанции башенного типа, где теплоприемником является паровой котел.

Преимущество такого подхода заключается в том, что не нужно осуществлять транспортировку рабочей жидкости на большие расстояния, а это уменьшает неизбежные потери. В настоящее время ни одна из 10 ранее построенных опытных солнечных башенных электростанций мощностью 0,5 – 10 МВт не работает, т.к. их эксплуатация в качестве коммерческих невыгодна.

Недостатком рассмотренных солнечных электростанций является периодический характер их работы. Они работают тогда, когда светит солнце.

В основе *фотоэлектрического способа* прямого преобразования солнечного излучения в электроэнергию лежит явление фотоэффекта (испускание электронов под действием света). Устройства для преобразования электромагнитного излучения оптического диапазона Солнца в электрическую энергию постоянного тока называют фотоэлементами или солнечными элементами (рис. 3.9).

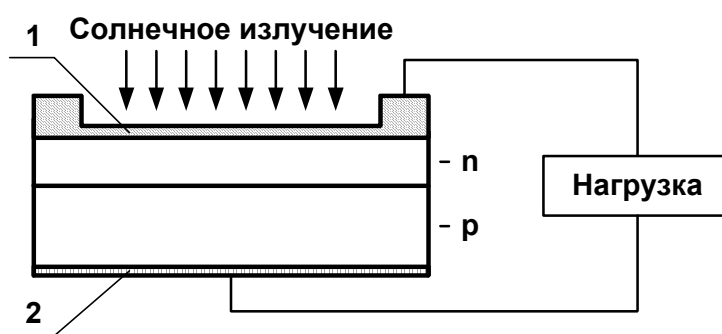


Рис. 3.9. Схема солнечного элемента с *p-n* переходом:
1 – противоотражательное покрытие лицевого контакта;
2 – металлический контакт с тыльной стороны

При плотности потока солнечного излучения около 1 кВт/м^2 создается разность потенциалов $0,5 \text{ В}$ и плотность тока около 200 А/м^2 . При таких параметрах современные преобразователи с кпд $15 - 20 \%$ позволяют получить напряжение 120 В с 1 м^2 .

Практические области применения фотоэлектрического преобразования солнечной энергии сегодня:

- уличное освещение, зарядные устройства, потребительские товары (фотоаппараты, калькуляторы, часы и т.д.);
- автономные потребители ($0,01 - 10 \text{ кВт}$): насосы, холодильники, вентиляторы, энергообеспечение домов;
- так называемые солнечные дома, имеющие солнечные модули ($1 - 20 \text{ кВт}$) на крышах, объединенные с энергосистемой;

- центральные солнечные станции (50 – 5 000 кВт), снабжающие энергией поселки и небольшие города.

В настоящее время стоимость электроэнергии, получаемой с помощью фотоэлектрических установок, превышает стоимость энергии, получаемой на традиционных энергоустановках, в 6 раз. Однако она постепенно снижается.

В настоящее время одна солнечная электростанция установлена в Беловежской пуще и отапливает два дома, еще несколько установлено в чернобыльской зоне. Солнечные коллекторы, вырабатывающие тепло, рекомендуется устанавливать в коттеджах и загородных домах. Они экономичнее традиционных угольных котлов. В Республике Беларусь организовано производство гелиосистем для нагрева воды. Они представляют собой легкие, компактные конструкции, собираемые по модульному принципу. В зависимости от конкретных условий можно получить установку любой производительности. Основой гелиосистем является пленочно-трубчатый адсорбирующий коллектор. Он обладает высокой адсорбирующей способностью, благодаря чему даже небольшие дозы солнечного излучения превращаются в полезную тепловую энергию. Теплообменники, входящие в состав систем, изготавливаются из специальных материалов, исключающих коррозию или замерзание. Гелиоустановки могут подключаться к централизованной системе отопления или работать автономно с заправкой бака-накопителя требуемой емкости. Приблизительная цена систем составляет 400 дол. США.

Однако в целом в ближайшее время на значительное увеличение доли солнечной энергетики в Беларуси рассчитывать не приходится. Для нашей республики реально использование солнечной энергии для сушки кормов, семян, фруктов, овощей, подъема и подогрева воды на технологические и бытовые нужды.

3.6. Другие виды нетрадиционной энергетики

3.6.1. Геотермальная энергетика

Геотермальная энергетика – получение энергии от внутреннего тепла Земли. В ядре Земли максимальная температура достигает 4000 °С. Земля непрерывно отдает теплоту, которая восполняется за счет распада радиоактивных элементов. Выход теплоты через твердые породы суши и океанского дна происходит за счет теплопроводности и реже – с потоками расплавленной магмы при извержении вулканов, потоками воды горячих ключей и гейзеров.

Различают естественную и искусственную геотермальную энергию – от природных термальных источников и от закачки в недра Земли воды, других жидкостей или газообразных веществ. Данный вид энергетики широко применяется для бытовых целей и отопления теплиц. Имеются геотермальные ТЭС. Теплота из недр Земли на этих станциях поступает с паром, извлекаемым через пробуренные скважины или естественные трещины и расщелины. Со временем давление и температура в скважине падают, поверхность вокруг нее на площади в 6 км² оседает, производительность убывает. Чтобы предотвратить этот процесс, под землю под высоким давлением должна закачиваться вода, что связано с риском возникновения землетрясений.

Температурные условия недр территории Беларуси изучены недостаточно. По предварительным данным, наиболее благоприятные условия для образования термальных вод имеются в Припятской впадине. Температура воды на устье скважин составляет 35 – 50 °С. Относительно низкая температура вод, большая глубина залегания, их высокая минерализация, низкий дебит скважин не позволяют в настоящее время рассматривать термальные воды в качестве заслуживающего внимания источника энергии.

3.6.2. Морская энергетика

Морская энергетика базируется на энергии приливов и отливов (Кислогубская ЭС на Кольском полуострове), морских течений и разности температур в различных слоях морской воды. Пока морская энергетика малорентабельна из-за разрушающего воздействия морской воды на оборудование. Приливная энергетика рентабельна на побережьях морей с исключительно высокими приливами.

3.7. Общая оценка

Общие возможности экономии ТЭР за счет применения возобновляемых источников для условий Республики Беларусь ограничены. Их потенциал оценивается в 0,5 – 1 % общих потребностей Беларуси в ТЭР. Основными потребителями возобновляемых энергоресурсов могут стать объекты сельского хозяйства. Возобновляемые источники энергии могут решать в основном локальные задачи энергообеспечения и служить необходимым дополнением к традиционной энергетике на органическом топливе и ядерной энергетике.

Следует подчеркнуть возможность и важность поиска новых идей, оригинальных решений в области нетрадиционной возобновляемой энер-

гетики. На правительственном уровне в Республике Беларусь приняты решения, создавшие благоприятные условия для развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии, в частности, энергосистема обязана принимать электроэнергию, выработанную ими, и тариф на нее превышает в 2,4 раза среднюю себестоимость по республике.

3.8. Аккумуляирование энергии

В связи с тем, что потоки энергии от большинства возобновляемых источников поступают непостоянно, могут возникнуть трудности с бесперебойным снабжением энергией потребителей. Надежность энергоснабжения повышается с использованием аккумуляторов и комбинирования возобновляемых источников.

Аккумуляирование энергии основано на химических и физических принципах. Первый принцип позволяет накапливать энергию за счет химических реакций, второй – за счет физических явлений.

Химические принципы аккумуляирования энергии могут включать *биохимические реакции* под действием потока лучистой солнечной энергии, что составляет основу фотосинтеза, в результате которого образуются органические вещества растений, аккумулярующие солнечную энергию. За счет прямого или косвенного употребления растений в пищу энергию аккумуляруется в животных. Растения используются в качестве топлива, а животные могут совершать механическую работу. *Природные* энергетические *ресурсы* в виде ископаемого топлива также являются аккумуляторами солнечной энергии.

При проведении *экзотермических реакций* выделяется аккумуляированная теплота, которая может использоваться как полезная в технологических процессах. На основе *электрохимических реакций* проводится аккумуляирование энергии в гальванических элементах многоразового и однократного пользования. К элементам многоразового пользования относятся кислотные и щелочные аккумуляторы, выдерживающие циклы зарядки и разрядки. Областью их применения являются энергетика, транспорт, ветроэнергетические и солнечные установки, не подключенные к централизованной электрической сети. Однократные гальванические элементы используются как источники питания в электронных и электротехнических устройствах.

Физические принципы позволяют аккумуляировать теплоту и механическую энергию.

Различают две группы устройств накопления *тепловой энергии*.

В первой группе происходит аккумулярование явной теплоты. Ее накапливание осуществляется путем нагревания рабочего тела аккумулятора – большой массы какого-либо вещества, термически изолированного от внешней среды. Тот же принцип применяется для накопления холода: резервуар с рабочим телом охлаждается с помощью холодильной установки в ночное время, во время провала нагрузки энергосистемы.

Во второй группе устройств накопление тепловой энергии происходит путем аккумулярования скрытой теплоты. Это осуществляется в результате перехода рабочего тела из одного агрегатного состояния в другое: из твердого в жидкое, из жидкого в парообразное.

Передача тепла потребителю от аккумуляторов первой группы происходит за счет охлаждения рабочего тела и понижения его температуры, а от аккумуляторов второй группы – путем возвращения рабочего тела в первоначальное агрегатное состояние.

Аккумуляторы явной теплоты применяются в системах производства электроэнергии, в т.ч. на солнечных электростанциях. Аккумуляторы скрытой теплоты – для питания потребителей коммунально-бытового сектора, сферы обслуживания.

Аккумулярование *механической энергии* проводится на гидроаккумулирующих станциях (ГАЭС).

Принципиальная схема ГАЭС представлена на рис. 3.10.

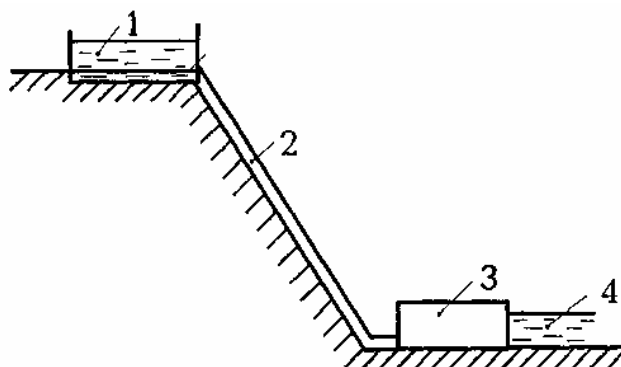


Рис. 3.10. Принципиальная схема ГАЭС:

1 – верхний бассейн; 2 – водовод; 3 – здание ГАЭС; 4 – нижний бассейн

Когда электрическая нагрузка в энергосистеме минимальна, вода из нижнего водохранилища перекачивается в верхнее, при этом потребляется электроэнергия из системы, т.е. ГАЭС работает в двигательном режиме. В режиме непродолжительных пиков – максимумов нагрузки ГАЭС работает в генераторном режиме и, расходуя запасенную в верхнем водохранилище

воду, выдает электроэнергию в энергосистему. Рельеф Беларуси отличается наличием естественных перепадов местности, что позволяет сооружать станции с небольшим напором 80 – 110 м. Для Белорусской энергосистемы характерен значительный дефицит маневренной мощности, поэтому сооружение ГАЭС было бы весьма полезно.

В общем случае аккумулирование энергии позволяет обеспечить:

- бесперебойное энергоснабжение потребителей за счет накопления избыточной энергии и последующего ее использования в периоды отсутствия или недостатка энергоснабжения;
- оптимальные режимы работы источников энергии и потребителей за счет сглаживания колебаний в электросети;
- повышение потенциала энергии до необходимого качества при накоплении низкопотенциальной энергии;
- превращение энергии одного вида в другой в зависимости от нужд потребителей.

Бесперебойное энергоснабжение потребителей на основе возобновляемых источников наиболее эффективно может быть осуществлено при использовании не только аккумуляторов, но и их комбинированного сочетания. Это актуально для энергоснабжения автономных объектов.

Комбинированная система тепло- и электроснабжения представлена на рис. 3.11.

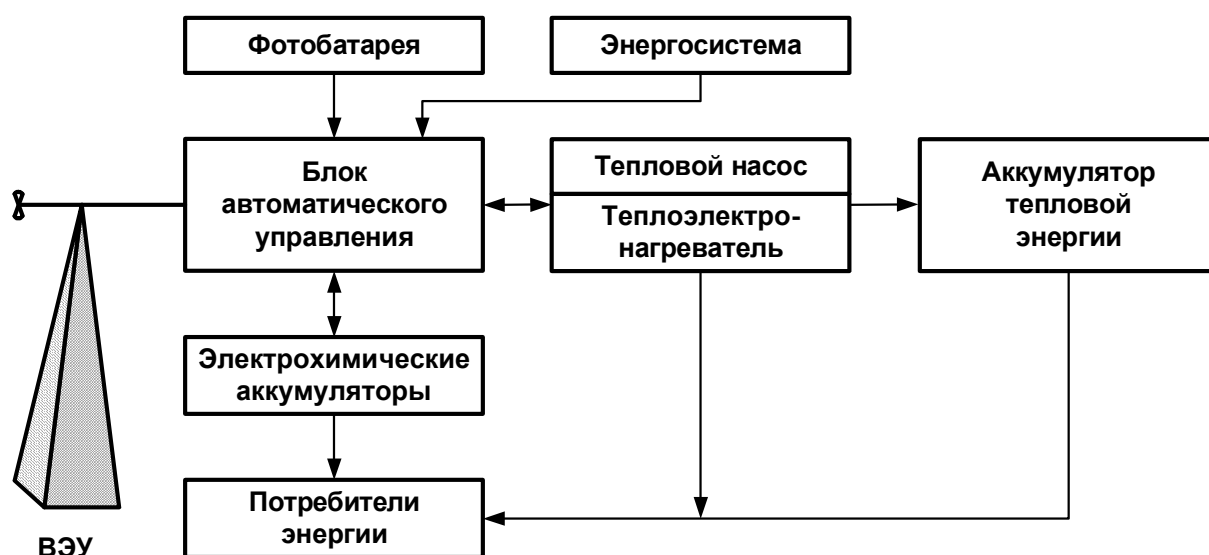


Рис. 3.11. Схема комбинированного энергоснабжения одноквартирного жилого дома

Источником электроэнергии служат ветроэнергетическая установка и фотобатарея, но часть ее превращается в тепловую для нужд горячего водоснабжения и отопления. Электрохимический аккумулятор служит буфером для выравнивания колебаний тока, полученного с помощью ветрогенератора. Аналогичная энергосистема была смонтирована и прошла испытания на полигоне НАН Украины. Она полностью обеспечивала энергией потребности многоквартирного дома площадью 50 м² и объемом 188 м³ при расчетной результирующей температуре помещения 19 °С и нормативной температуре наружного воздуха для зимы минус 21 °С. Тепловой насос с коэффициентом преобразования больше 2 использовался в отопительный период.

Реальные схемы энергоснабжения на основе возобновляемых источников должны проектироваться после тщательного мониторинга по определению потенциала местных возобновляемых ресурсов.

Контрольные вопросы

1. Какими видами возобновляемых источников энергии располагает Беларусь?
2. Каковы особенности возобновляемых источников энергии?
3. Назовите способы переработки биомассы.
4. В чем сущность процессов пиролиза и газификации?
5. Что представляет собой биогаз?
6. Как оценить потенциал гидроэнергии?
7. Зачем нужна плотина на ГЭС?
8. Какие виды гидротурбин вы знаете? Поясните принцип их работы.
9. Назовите направления использования солнечной энергии.
10. Приведите схему простейшей одноконтурной солнечной водонагревательной установки.
11. Какие системы солнечного отопления вы знаете? Поясните принцип их работы.
12. Назовите способы преобразования солнечной энергии в электрическую энергию.
13. На каких принципах основано аккумулирование энергии?
14. Каков принцип действия ГАЭС?
15. Зачем необходимо аккумулирование энергии в энергетике?
16. Приведите схему комбинированного использования возобновляемых источников энергии.

Тема 4

ТРАНСПОРТИРОВКА ЭНЕРГИИ

В большинстве случаев источники первичных энергоресурсов и энергоносители, вырабатываемые в энергоустановках и системах преобразования энергии, не совмещены с потребителем, поэтому требуется их транспортировка. Транспортировка энергоносителей проводится по трубопроводам, а электрической энергии – по линиям электропередач.

Энергия может передаваться в различной форме. Например, можно перевозить нефть и уголь от месторождений до крупных промышленных центров и городов, а затем сжигать их на электростанциях, получая электрическую и тепловую энергию. Возможен и другой вариант, когда электростанция сооружается вблизи месторождений топлива, а электрическая энергия передается по проводам к удаленным промышленным предприятиям и городам.

Место расположения электростанций не может быть выбрано произвольно. Его определение – задача многоцелевой оптимизации и зависит от технических, экологических, социально-экономических критериев. Расположение ТЭС зависит от размещения месторождения и энергоемкости топлива, размещения потребителя, источника водоснабжения; ГЭС – от наличия гидроэнергоресурсов, возможностей создать напор, соорудить плотину, ожидаемого экологического ущерба от затопления; АЭС – от условий радиационной безопасности, наличия источника водоснабжения и т.д. При выборе места строительства электростанции обязательно оцениваются транспортные расходы. Для ТЭС могут рассматриваться и сопоставляться передача электроэнергии по проводам (электронный транспорт), железнодорожный (перевозка угля, нефти) и трубопроводный транспорт топлива. Для ГЭС – только передача электроэнергии.

Транспортировка энергии сопряжена с потерями. Примерно 30 – 40 % от добытых и предназначенных к полезному использованию первичных энергоресурсов теряется при добыче, транспортировке и хранении.

При транспортировке жидких и газообразных энергоносителей по трубопроводам энергия затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления. Дополнительная составляющая потеря энергии в виде теплоты присутствует при транспорте горячих энергоносителей – воды и пара. Специфическими особенностями обладают потери при передаче электрической энергии.

4.1. Транспортировка первичных энергоресурсов

Топливо перевозят в твердом или жидком агрегатном состоянии. При этом используются транспортные средства, что требует дополнительных затрат топлива для их работы. Твердое топливо целесообразно перевозить на большие расстояния с помощью железнодорожного, автомобильного или водного транспорта, если оно обладает большими значениями теплоты сгорания и плотности. К такому топливу относятся высококачественные каменные угли с $Q_n^P \geq 30$ МДж/кг. Древесину как топливо транспортировать более чем на несколько десятков километров невыгодно. Наиболее эффективным топливом по своим удельным характеристикам является ядерное горючее.

При перевозках топлива часть энергии тратится при неизбежных потерях массы, а другая часть потерь связана с ее расходом при работе транспортных средств.

В настоящее время большое распространение получили жидкие и газообразные энергоносители, обладающие высоким значением теплоты сгорания (природный газ, нефть) и удобные при их транспорте по трубопроводам. Затраты энергии для перемещения энергоносителей, горячей и холодной воды по трубопроводам зависят от потерь давления в их элементах. Зная потери давления, расходы потоков и характеристики перекачивающих устройств, можно найти энергетические затраты на транспорт энергоносителя.

В общем случае потери давления при транспортировке энергоносителя включают три составляющие:

$$\Delta P = \Delta P_T + \Delta P_M + \Delta P_h,$$

где $\Delta P_T, \Delta P_M, \Delta P_h$ – потери давления соответственно за счет сопротивления трения, местных сопротивлений (сужений, расширений, поворотов) и перепада высот.

Потери давления за счет сопротивления трения в трубах

$$\Delta P_T = \lambda \cdot \frac{L}{D_y} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения;

L – длина участка трубопровода, м;

D_y – условный внутренний диаметр трубопровода, м;

ρ – средняя плотность энергоносителя, кг/м³;

w – средняя скорость энергоносителя, м/с.

Потери давления в местном сопротивлении

$$\Delta P_M = \xi_M \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2},$$

где ξ_M – коэффициент местного сопротивления, определяется на основании эмпирических справочных данных.

Потери давления за счет перепада высот

$$\Delta P_h = \rho \cdot g \cdot (h - h_0),$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

h_0, h – соответственно нулевой и текущий уровни, м.

На основании вычисленных потерь давления определяются затраты энергии, потребляемой приводом насоса, на прокачку энергоносителя:

$$N = \frac{G \cdot \Delta P}{\rho \cdot \eta},$$

где η – КПД привода;

ρ – плотность энергоносителя;

G – массовый расход энергоносителя.

В настоящее время наиболее выгодным видом транспортировки энергии является перекачка нефти и нефтепродуктов по трубопроводам. Близка к ней по экономичности перевозка нефти и продуктов ее переработки на больших танкерах по морям, океанам. Именно вследствие малых затрат на транспортировку мировые цены на нефть мало зависят от места ее потребления. Как и все жидкости, нефть почти несжимаема, и поэтому расход энергии на ее перекачку определяется только необходимостью преодоления сил трения в трубопроводе, т.е. является относительно малым. Протяженные нефте- и продуктопроводы требуют затрат большого количества труб. Поэтому правильное определение их пропускной способности может дать существенный эффект экономии. Пропускная способность сильно зависит от соотношения затрат металла в трубах и энергии, идущей на перекачку. Важно объективно соотнести затраты в трубопроводы и в производство электроэнергии. В электроэнергетике нефть и нефтепродукты используются все меньше в силу ценности их как химического сырья и экологических причин. Эта тенденция в дальнейшем не только сохранится, но и усилится.

Перекачка по трубопроводам природного газа стоит уже значительно дороже. Так как газ сжимаем, то вместо используемых на нефтепроводах насосов здесь приходится использовать компрессоры. Представляет инте-

рес перекачка газа в сжиженном состоянии. Расход энергии на перекачку резко снижается, а диаметр трубопровода при том же количестве транспортируемого газа может быть выбран гораздо меньший.

Для транспортировки угля на дальние расстояния используется только железнодорожный и водный транспорт. Проявляется интерес к транспорту угля по трубопроводам в контейнерах и в виде пульпы, т.е. примерно 50 %-ной смеси измельченного угля с водой.

Уменьшение затрат энергии на транспортировку энергоносителя по трубопроводам может быть достигнуто:

- экономически оправданным увеличением диаметра трубопровода;
- использованием плавных переходов в устройствах, являющихся источником местных сопротивлений;
- устранением течей;
- применением совершенных перекачивающих устройств с высоким значением эффективного КПД.

4.2. Транспортировка теплоты

Передача теплоты от источника потребителям осуществляется с помощью *систем теплоснабжения*, которые включают источник, тепловую сеть и потребителей (рис. 4.1).

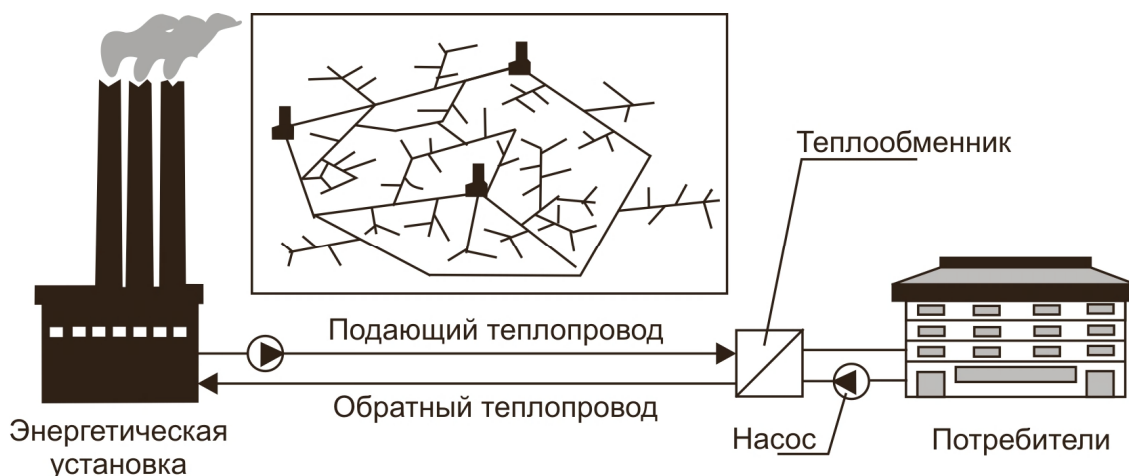


Рис. 4.1. Принципиальная схема централизованного теплоснабжения и тепловой сети

Наиболее распространенными *источниками теплоснабжения* являются энергетические установки: ТЭЦ, атомные станции теплоснабжения и котельные.

Тепловая сеть включает систему трубопроводов (теплопроводов), по которым теплоноситель (горячая вода или пар) переносит тепло от источника к потребителю и возвращается обратно к источнику.

Потребителями тепла являются промышленные и коммунально-бытовые предприятия, жилые, общественные и административные здания. Отпускаемое тепло расходуется на технологические нужды, отопление, горячее водоснабжение, вентиляцию.

Транспортировка тепла осуществляется с помощью теплопроводов. Современный теплопровод (рис. 4.2) включает:

- стальную трубу для транспортировки энергоносителя;
- тепловую изоляцию из пенополиуретана с коэффициентом теплопроводности $\approx 0,02 - 0,027$ Вт/(м·К);
- защитный кожух из пластмассы.

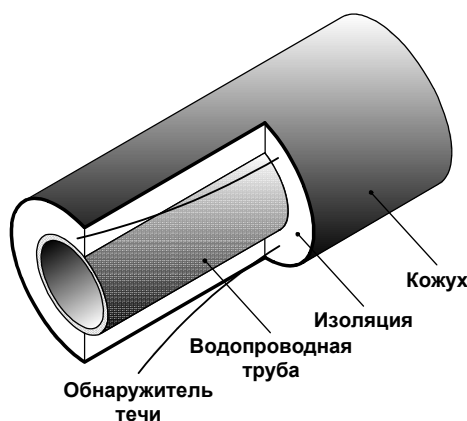


Рис. 4.2. Схема элемента предварительно изолированного теплопровода

Благодаря пластиковому защитному кожуху и жесткому сцеплению изоляции с ним и трубой, такие теплопроводы герметичны и выдерживают механические нагрузки со стороны грунта. Данные теплопроводы являются перспективными и прокладываются непосредственно в грунте, что сокращает затраты на их монтаж и эксплуатацию. Они надежны и удобны в обслуживании. Для сведения тепловых потерь к минимуму при монтаже таких теплопроводов предусмотрена технология герметизации швов на стыках и других элементов – задвижек, переходников. Теплопроводы с надземной прокладкой оснащаются теплоизоляцией из минеральной ваты. Коэффициент теплопроводности сухой минеральной ваты в два раза выше, чем у пенополиуретана.

Протяженность тепловых сетей в Беларуси по данным концерна «Белэнерго» (2001 г.) составляет: магистральных – 1 048,9 км, распределительных – 1 278,2 км.

При транспортировке теплоты имеются потери в окружающую среду, величина которых зависит как от температуры теплоносителя и окружающей среды, так и от качества тепловой изоляции теплопроводов. Основной характеристикой теплоизоляционных материалов является коэффициент теплопроводности, который зависит от применяемого материала и его влажности. С ростом влажности материала коэффициент теплопроводности увеличивается.

Потери тепла при транспортировке теплоносителей связаны с их охлаждением, а при использовании пара будут присутствовать дополнительные потери, обусловленные конденсацией. В общем случае при транспортировке потери тепла в окружающую среду можно рассчитать на основе уравнения теплового баланса:

$$Q = G \cdot C \cdot (t_1 - t_2) + r \cdot G_k,$$

где G – массовый расход однофазного энергоносителя (пар или жидкость), кг/с;

C – теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·град);

t_1, t_2 – температура теплоносителя соответственно на входе и выходе исследуемого участка сети, град;

r – теплота конденсации, Дж/кг;

G_k – расход сконденсировавшегося теплоносителя, кг/с.

Потери тепла надземным теплопроводом в окружающую среду можно оценить на основании уравнения теплопередачи. При этом тепловой поток удобно отнести к длине теплопровода l :

$$Q = q_1 \cdot l = k_1 \cdot \Delta t \cdot l,$$

где q_1 – линейная плотность теплового потока, Вт/м;

k_1 – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м °С);

$\Delta t \cong (\bar{t}_T - t_g)$ – температурный напор, °С;

\bar{t}_T – средняя температура теплоносителя на исследуемом участке теплопровода, °С;

t_g – температура окружающей среды, °С.

Приняв, что линейный коэффициент теплопередачи через многослойную стенку теплопровода определяется только ее термическим сопротивлением, можно использовать уравнение

$$k_l = \left(\frac{1}{\alpha_T \cdot \pi \cdot D_B} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \ln \frac{D_H}{D_B} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{II}} \ln \frac{D_{II}}{D_H} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_K} \ln \frac{D_K}{D_{II}} + \frac{1}{\alpha_g \cdot \pi \cdot D_K} \right)^{-1},$$

где α_T – коэффициент теплоотдачи со стороны теплоносителя, Вт/(м²·К);
 α_g – коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, Вт/(м²·К);
 $\lambda, \lambda_{II}, \lambda_K$ – коэффициенты теплопроводности соответственно трубы, изоляции и защитного кожуха, Вт/(м·°С);
 D_B, D_H, D_{II}, D_K – диаметр соответственно внутренний и наружный трубы, наружный изоляции и защитного кожуха, м.

В данном уравнении первый член выражает термическое сопротивление теплоотдачи со стороны теплоносителя, второй – стальной трубы, третий – слоя изоляции, четвертый – защитного кожуха и пятый – теплоотдачи со стороны окружающей среды.

При транспортировке теряется значительное количество теплоты. В отдельных случаях эти потери достигают 50 %. Это связано с неудовлетворительной тепловой изоляцией и утечкой теплоносителя. Особенно большие потери могут проявляться в технологических теплопроводах с большим уровнем температур и образованием конденсата. При конденсации пара дополнительно выделяется значительное количество тепла за счет фазового перехода, а в горизонтальных трубах также увеличиваются потери давления на прокачку теплоносителя.

Для уменьшения потерь тепла в окружающую среду можно рекомендовать следующие мероприятия:

- применять теплопроводы с высокими теплоизоляционными свойствами;
- понижать уровень температур теплоносителя без ущерба для потребителя;
- по возможности заменять технологический пар горячей водой;
- своевременно с помощью конденсатоотводчиков удалять конденсат из паропроводов;
- ликвидировать утечки теплоносителя;
- использовать гибкие системы регулирования отпуска и распределения тепла.

4.3. Транспортировка электрической энергии

Электроэнергетическая система включает электрическую часть электростанций и потребителей энергии, связанных между собой посредством электрических сетей.

Распределение и передача электрической энергии осуществляется *электрическими сетями*, включающими трансформаторные и преобразовательные подстанции, распределительные устройства и воздушные или кабельные линии электропередач (ЛЭП).

Передачу электроэнергии можно осуществлять при напряжении, вырабатываемом источником, согласованным с потребителем, или изменяя напряжение в ЛЭП с помощью трансформаторов (рис. 4.3).

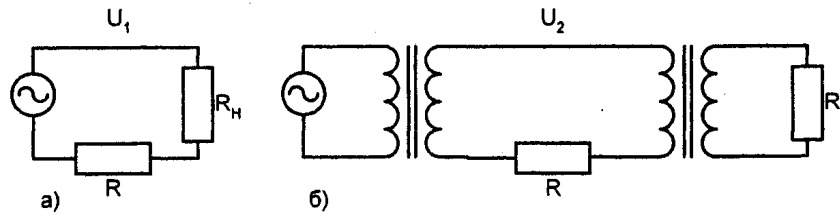


Рис. 4.3. Система передачи электроэнергии без повышения напряжения (а) и с повышением напряжения (б) в линии электропередачи

Рассмотрим оба случая передачи электроэнергии, полагая, что полезная нагрузка P , обусловленная сопротивлением потребителя R_n , остается постоянной и передается при сопротивлении цепи $R = \text{const}$. В основе анализа лежит закон Ома и формула для расчета мощности участка цепи

$$I = \frac{U}{R}; P = I \cdot U.$$

При принятых допущениях полезная мощность, передаваемая источником потребителю в обеих схемах, равна

$$P = I_1 \cdot U_1; P = I_2 \cdot U_2,$$

где индексы 1 и 2 соответственно относятся к схемам а и б рис. 4.3.

Потери энергии в обеих схемах, напротив, отличаются:

$$P_1'' = I_1^2 \cdot R \text{ и } P_2'' = I_2^2 \cdot R.$$

Относительная величина потерь

$$\frac{P_1''}{P_2''} = \frac{I_1^2 \cdot R}{I_2^2 \cdot R} = \frac{I_1^2}{I_2^2}.$$

С учетом записанных ранее выражений

$$\frac{P_1''}{P_2''} = \frac{(P/U_1)^2}{(P/U_2)^2} = \frac{U_2^2}{U_1^2}.$$

Таким образом, потери при передаче электроэнергии обратно пропорциональны квадрату напряжения. По этой причине в ЛЭП используются высокие напряжения, которые в настоящее время достигают 750 – 1 150 кВ. Это позволяет без существенных потерь передавать электроэнергию на большие

расстояния по проводам небольшого сечения, что также приводит к косвенной экономии энергии за счет снижения материалоемкости ЛЭП.

Длина ЛЭП в Беларуси (2001 г.): 750 кВ – 753 км, 330 кВ – 3 856 км, 220 кВ – 2 281 км, 110 кВ – 16 278 км.

Одно из наиболее интересных направлений в области передачи электроэнергии – применение эффекта сверхпроводимости. Это способность металлов обладать практически нулевым сопротивлением при температурах, приближающихся к абсолютному нулю. Создание ЛЭП, работающих в условиях низких температур, представляет сложную научную и инженерную проблему. Однако существующие высоковольтные линии практически исчерпали заложенные в них возможности. По пути к потребителю в ЛЭП теряется 15 – 25 % энергии.

Использование сверхпроводимости равноценно введению дополнительных мощностей электростанций. Нынешние высоковольтные ЛЭП напряжением 500 кВ позволяют транспортировать мощности около 1 млн кВт. Однако существующий уровень электрификации требует передачи мощностей, превышающих указанный в 5 – 7 раз, но если для этого дополнительно увеличить напряжение, то воздух перестанет быть надежным изолятором и надо будет изготовить опоры ЛЭП отдельно для каждой фазы. Если сейчас коридор отчуждаемых земель в зоне ЛЭП составляет 300 м, то при напряжении 1 500 кВ потребуется зона отчуждения шириной около 2 – 3 км. Легко можно определить площади, которые должны быть изъяты из нормального природопользования. Вот почему проблема создания сверхпроводящих ЛЭП непосредственно связана с решением вопросов оптимального использования природных ресурсов. По предварительным технико-экономическим оценкам сверхпроводящие ЛЭП могут уже в обозримом будущем найти применение в крупных городах.

Контрольные вопросы

1. Каким образом транспортируется твердое, жидкое и газообразное топливо?
2. Как уменьшить затраты энергии на транспортировку энергоносителя по трубопроводам?
3. Что представляет собой система теплоснабжения?
4. Как рассчитать потери тепла надземным теплопроводом в окружающую среду?
5. Какие мероприятия позволяют повысить эффективность передачи теплоты от источника к потребителю?
6. Что представляет собой электроэнергетическая система?
7. Какие методы применяются для снижения потерь энергии в линиях электропередач?

Тема 5 ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

5.1. Классификация энергетических отходов

В процессе потребления энергии и материалов в технологических процессах, на вспомогательные нужды и в сфере услуг потенциал энергоносителей используется не полностью. Та часть энергии, которая прямо или косвенно не используется как полезная для выпуска готовой продукции, называется *энергетическими отходами*. Общие энергетические отходы равны разности между энергией, поступающей в технологический аппарат, и полезно используемой энергией.

Общие энергетические отходы разделяют на *три вида*:

1) *неизбежные потери* в технологическом агрегате или установке;

2) *энергетические отходы внутреннего использования*, которые возвращаются обратно в технологический агрегат за счет регенерации или рециркуляции и в результате этого сокращают количество подведенной первичной энергии при неизменной величине поступления энергии в технологический агрегат;

3) *энергетические отходы внешнего использования*, представляющие собой *вторичные энергетические ресурсы* – энергетический потенциал отходов продукции, побочных и промежуточных отходов, образующихся в технологических установках, который не используется в самой установке, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других установок.

Технологический агрегат или установка, являющиеся источником отходов энергии, которую можно использовать как полезную, называется *агрегатом (установкой) – источником ВЭР*.

Выработка энергоносителей (водяного пара, горячей воды, электроэнергии, механической работы) за счет снижения энергетического потенциала носителя ВЭР осуществляется в *утилизационной установке*.

Принята следующая *классификация ВЭР*:

1. *Горючие ВЭР* – твердые, жидкие и газообразные отходы, которые могут быть использованы в качестве топлива в других установках и непригодные в дальнейшем в данной технологии: отходы деревообрабатывающих производств (щепа, опилки, обрезки, стружки), городской мусор, органические отработанные растворители и т.д.

2. *Тепловые ВЭР* – любые теплоносители, имеющие температуру выше температуры окружающей среды, способные передать тепло для последующего использования: горячие газы и жидкости, являющиеся промежуточными или сбросными в данном технологическом процессе.

3. **ВЭР избыточного давления** – газы и жидкости под давлением, которое можно использовать перед их сбросом в атмосферу, водоемы, емкости и другие приемники.

ВЭР могут использоваться по следующим **направлениям**:

- **топливное** – используются непригодные к дальнейшей переработке горючие отходы в качестве топлива;

- **тепловое** – ВЭР используются непосредственно в качестве тепла или для выработки тепла в утилизационных установках (отходящие газы печей и котлов, тепло основной, промежуточной и побочной продукции, отработанное тепло горячих воды, пара и воздуха и ВЭР избыточного давления);

- **силовое** – ВЭР используются для производства электрической или механической энергии;

- **комбинированное** – ВЭР используются для производства теплоты (холода) и электрической (механической) энергии одновременно в утилизационных установках.

5.2. Выход ВЭР и экономия топлива за счет их использования

При разработке предложений и проектов по утилизации энергетических отходов необходимо знать выход ВЭР. Различают удельный и общий выход ВЭР.

Удельный выход рассчитывают или в единицу времени работы агрегата-источника ВЭР, или в показателях на единицу продукции.

Удельный выход горючих ВЭР определяется по формуле

$$q^G = m \cdot Q_H^p,$$

где m – удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, кг (м³)/ч.

Удельный выход тепловых ВЭР определяется по соотношению

$$q^G = m \cdot (c_{p1} \cdot t_1 - c_{p2} \cdot t_2),$$

где t_1 – температура энергоносителя на выходе из агрегата-источника ВЭР, °С;

c_{p1} – теплоемкость энергоносителя при температуре t_1 , кДж/(кг·°С);

t_2 – температура энергоносителя, поступающего на следующую стадию технологического процесса после утилизационной установки, или температура окружающей среды, °С;

c_{p2} – теплоемкость энергоносителя при температуре t_2 , кДж/(кг·°С).

Удельный выход ВЭР избыточного давления рассчитывается по формуле

$$q^H = m \cdot L,$$

где L – работа изоэнтропного расширения энергоносителя, кДж/кг.

Общий выход ВЭР за рассматриваемый период времени определяют исходя из удельного или часового:

$$Q_B = q_{УД} \cdot П \text{ или } Q_B = q_C \cdot \tau,$$

где $q_{УД}$ – удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции;

$П$ – выпуск основной продукции, к которому отнесен $q_{УД}$ за рассматриваемый период, ед. продукции;

q_C – часовой выход ВЭР, кДж/ч;

τ – время работы агрегата-источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

Только часть энергии из общего выхода ВЭР может быть использована как полезная. Поэтому для оценки реального потенциала ВЭР, пригодного к использованию, рассчитывают **возможную выработку энергии за счет ВЭР**.

Возможная выработка теплоты в утилизационной установке за счет ВЭР для нагрева энергоносителей пара или горячей воды за рассматриваемый период времени

$$Q_T = Q_B \cdot \beta \cdot (1 - \xi),$$

где β – коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы утилизационной установки и агрегата-источника ВЭР ($\beta \approx 0,7 \div 1,0$);

ξ – коэффициент потерь энергии в окружающую среду утилизационной установкой и на тракте между агрегатом-источником ВЭР и утилизационной установкой ($\xi \approx 0,02 \div 0,05$).

Возможную выработку теплоты в утилизационной установке можно также определить по формуле

$$Q_T = Q_e \cdot \eta_y,$$

где η_y – КПД утилизационной установки.

Теплота, выработанная в утилизационной установке, может использоваться не полностью, что характеризуется коэффициентом использования выработанной теплоты

$$\sigma = \frac{Q_{II}}{Q_T},$$

где Q_{II} – использование тепловых ВЭР ($\sigma \approx 0,5 \div 0,9$).

Возможная выработка электроэнергии в утилизационной турбине за счет избыточного давления

$$W = P \cdot m \cdot L \cdot \eta_{OT} \cdot \eta_M \cdot \eta_G,$$

где η_{OT} – относительный внутренний КПД турбины;

η_M – механический КПД турбины;

η_G – КПД электрогенератора.

При использовании горючих ВЭР достигается экономия замещаемого топлива

$$\Delta B = 0,0342 \cdot Q_{II} \cdot \frac{\eta_{ВЭР}}{\eta_3}, \text{ т у.т.,}$$

где Q_{II} – использованные горючие ВЭР за рассматриваемый период, ГДж;
0,0342 – численное значение коэффициента для перевода 1 ГДж в тонну условного топлива;

$\eta_{ВЭР}, \eta_3$ – КПД утилизационной установки, работающей на горючих ВЭР, и установки, работающей на замещаемом топливе ($\eta_3 = 0,8 \div 0,92$).

При использовании тепловых ВЭР экономия топлива равна

$$\Delta B = b_3 \cdot Q_{II},$$

где $b_3 = 0,0342 / \eta_3$ – удельный расход условного топлива, т/ГДж, на выработку теплоты в замещаемой котельной установке.

5.3. Горючие ВЭР

К горючим ВЭР относятся образующиеся в процессе производства основной продукции газообразные, твердые или жидкие отходы, которые обладают химической энергией и могут быть использованы в качестве топлива.

В Беларуси источником горючих ВЭР являются лесная и деревообрабатывающая промышленность, химическая промышленность, сельское и коммунальное хозяйство. К горючим относятся древесные отходы, отходы целлюлозно-бумажной промышленности, солома и ботва растений, городской мусор. В лесной и деревообрабатывающей промышленности приблизительно половина заготавливаемой древесины идет в отходы. Одной из

первостепенных задач является их утилизация путем сжигания с целью получения теплоты.

Древесные отходы делятся на несколько типов: лесосечные отходы (хвоя, листья, молодые побеги), стволовая древесина, кора и древесная гниль. Древесина по своему составу включает такие же компоненты, что и твердое топливо, за исключением серы. Особенность древесных отходов – повышенная влажность для некоторых производств. Древесина имеет большой выход летучих веществ, что благоприятствует, несмотря на повышенную влажность, устойчивому процессу горения.

Способы сжигания древесных отходов зависят от гранулометрического состава и влажности. Древесную пыль (частицы менее 0,5 мм) без включений абразивных частиц сжигают факельно-вихревым способом. При наличии абразивных частиц – в циклонных топках. Более крупные отходы (опилки – 5 – 6 мм, щепа до 30 и более мм) эффективно сжигают в слоевых топках с кипящим или плотным слоем. Первичная переработка древесных отходов может включать изготовление брикетов, что позволяет сжигать их в топках с плотным слоем.

Процесс сжигания древесных отходов показан на рис. 5.1. Он включает предварительную сортировку и сушку. Сжигание проводится в топке с кипящим слоем с частичной рециркуляцией дымовых газов. Это обеспечивает полное сгорание топлива, выносимого с отходящими газами. Сжигание производится с целью получения теплоты и передачи ее энергоносителю – пару или горячей воде, которые могут непосредственно направляться потребителю. Теплота может также преобразовываться в электричество с помощью паровой или газовой турбины.

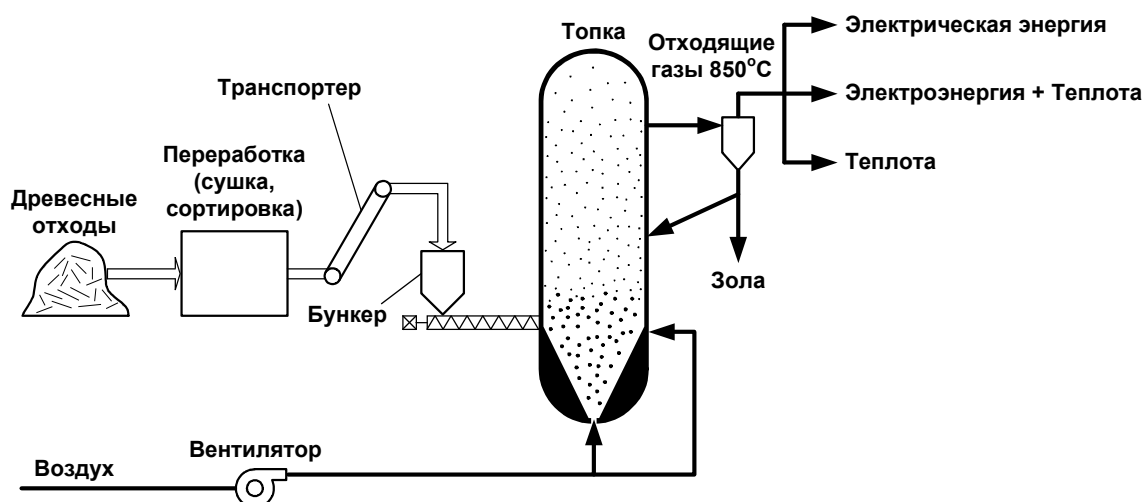


Рис. 5.1. Схема использования древесных отходов для получения энергии

Таким образом, горючие ВЭР позволяют замещать первичное топливо, которое Беларусь закупает за рубежом, и тем самым увеличивают производство энергии за счет собственных энергоресурсов.

5.4. Тепловые ВЭР

К тепловым ВЭР относится физическая теплота отходящих газов котельных установок и промышленных печей, основной или промежуточной продукции, других отходов основного производства, а также теплота рабочих тел, пара и горячей воды, отработавших в технологических и энергетических агрегатах.

Для утилизации тепловых ВЭР используются *теплообменники*, *котлы-утилизаторы* или *тепловые агенты*. Рекуперация теплоты отработанных технологических потоков в теплообменниках может проходить через поверхность или при непосредственном контакте.

Тепловые ВЭР могут поступать в виде концентрированных потоков тепла или в виде теплоты, рассеиваемой в окружающую среду. В промышленности концентрированные потоки составляют 41 %, а рассеиваемая теплота – 59 %. Концентрированные потоки включают теплоту уходящих дымовых газов печей и котлов, сточных вод технологических установок и жилищно-коммунального сектора.

Тепловые ВЭР делятся:

- на высокопотенциальные (температура носителя выше 500 °С);
- среднепотенциальные (температура от 150 до 500 °С);
- низкопотенциальные (температура ниже 150 °С).

Рассмотрим некоторые способы и устройства для утилизации тепловых ВЭР. Применение энергетических отходов для внутреннего использования рассматривалось ранее при изучении работы парового котла, где за счет рекуперации теплоты отходящих газов проводится подогрев питательной воды в экономайзере и окислителя воздуха в воздухоподогревателе. Имеются и другие возможности внутреннего использования энергетических отходов.

Теплота уходящих дымовых газов используется как для внутреннего, так и для внешнего потребления. При внутреннем потреблении энергоотходов в печах и котлах осуществляется подогрев воздуха, подаваемого на горение. В котлах дополнительно может подогреваться питательная вода. При внешнем использовании нагревают теплоноситель или сырье. Нагрев рабочей среды проводится в регенеративных, рекуперативных или смешительных (контактных) аппаратах.

Регенеративные аппараты по принципу действия являются периодическими. Через неподвижные насадки потоки дымовых газов и нагреваемой среды проходят попеременно путем переключения направления их течения (рис. 5.2). Реализуемый уровень температур в регенераторах с керамическими насадками составляет 1 700 °С. Недостатком этих аппаратов является снижение за цикл температуры нагреваемой среды на 10 – 15 %. Они пригодны для маловязких и чистых сред.

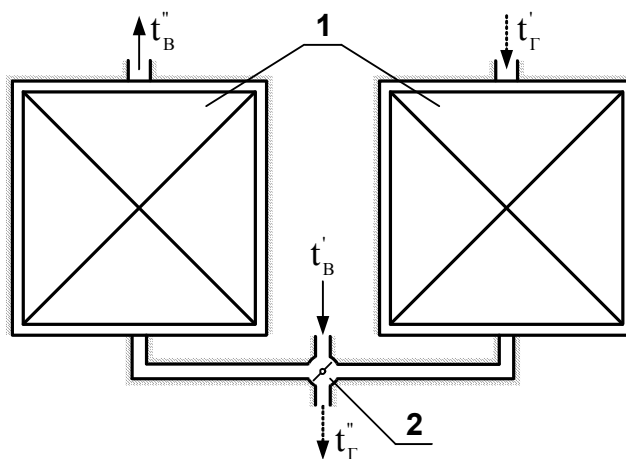
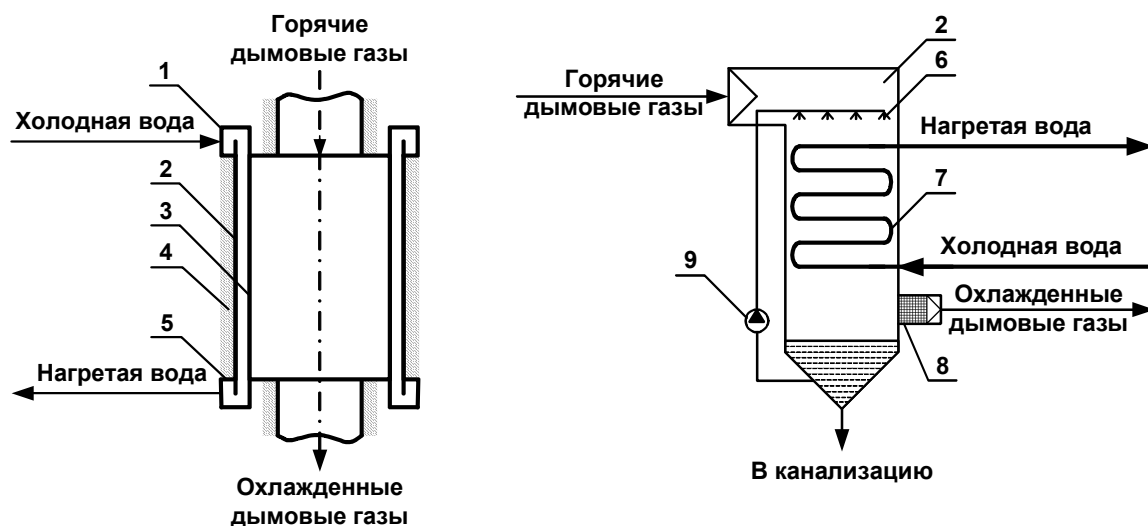


Рис. 5.2. Схема регенератора с неподвижной насадкой:
 1 – насадка; 2 – переключатель;
 сплошная стрелка – нагреваемая среда; пунктирная стрелка – греющая среда

Рекуперативные подогреватели выполняются из металла, поэтому уровень рабочих температур снижается до 700 – 800 °С по сравнению с регенераторами. Преимущество их заключается в постоянстве параметров рабочих сред, что обеспечивает стабильность технологического процесса. В простейшем рекуператоре (рис. 5.3, а) передача тепла от дымовых газов к нагреваемой среде осуществляется через разделяющую поверхность, которая может иметь различное конструктивное исполнение. В нашем случае это кольцевой канал, который связан с раздающим и сборным коллекторами.

При утилизации низкотемпературных дымовых газов целесообразно использовать **контактный теплообменник** с активной оросительной насадкой для повышения интенсивности теплообмена (рис. 5.3, б). С помощью данного устройства можно получать горячую воду 50 – 70 °С, что позволяет проводить сжигание топлива с учетом высшей теплоты сгорания и тем самым добиваться дополнительного энергосберегающего эффекта. Достоинством аппарата являются небольшие габариты и масса, достигаемые за счет интенсификации теплообмена при орошении пучка труб промежуточным теплоносителем в жидкой фазе, подогретым непосредствен-

ным соприкосновением с дымовыми газами. Это также дает косвенный энергосберегающий эффект за счет экономии металла. Кроме того, в данном аппарате происходит очистка дымовых газов. Энергетический эффект от утилизации теплоты дополняется экологическим эффектом уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду.



a

б

Рис. 5.3. Радиационный рекуператор кольцевой (*a*) и контактный теплообменник с активной насадкой (*б*):

1 – раздающий коллектор; 2 – корпус; 3 – поверхность нагрева; 4 – тепловая изоляция; 5 – сборный коллектор; 6 – система орошения; 7 – активная насадка; 8 – сепарационное устройство; 9 – насос системы орошения

При внешнем использовании тепла отходящих газов промышленных печей применяются паровые или водогрейные *котлы-утилизаторы*. В отличие от энергетических котлов, их поверхности нагрева располагаются не в топке, а по тракту отходящих газов. Конструкция котла-утилизатора включает: экономайзер, барабан-сепаратор, испаритель и пароперегреватель. Циркуляция воды через испаритель осуществляется с помощью насоса или естественной конвекцией. На рис. 5.4 представлена схема одного из таких устройств. Принцип работы котлов-утилизаторов идентичен котлам котельных установок.

После тепловой обработки в печи материалы или детали могут иметь высокую температуру и располагать значительным запасом физической теплоты. Если сыпучие материалы пропустить через контактный аппарат или заготовки конечных размеров через промежуточную камеру, то тепло можно передать газообразному или жидкому теплоносителю и использовать для других процессов с пониженной температурой.

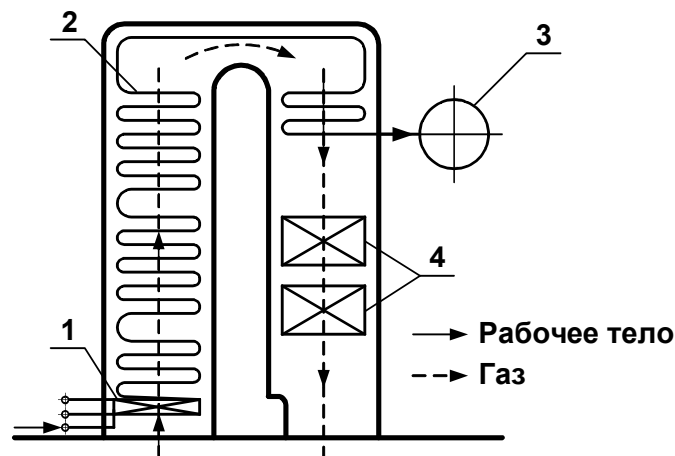


Рис. 5.4. Схема котла-утилизатора:

1 – пароперегреватель; 2 – испарительные пакеты; 3 – барабан-сепаратор;
4 – экономайзер

В химическом производстве готовой продукции могут появляться агрессивные жидкости. Например, при производстве серной, фосфорной и других кислот. Дальнейшее использование тепла от этих сред с помощью промежуточного теплоносителя позволяет утилизировать сбросное тепло. Схема конструкции теплообменника-утилизатора показана на рис. 5.5. В нижнем ярусе располагается трубчатая поверхность теплообмена с агрессивной жидкостью, от которой теплота передается теплоносителю с низкой температурой кипения. Таким теплоносителем может быть вода. Промежуточный теплоноситель испаряется, и пар, омывая верхнюю поверхность теплообмена, конденсируется, отдавая тепло конечному теплоносителю – воде. По такой схеме утилизации тепла исключается попадание вредных веществ в конечный теплоноситель.

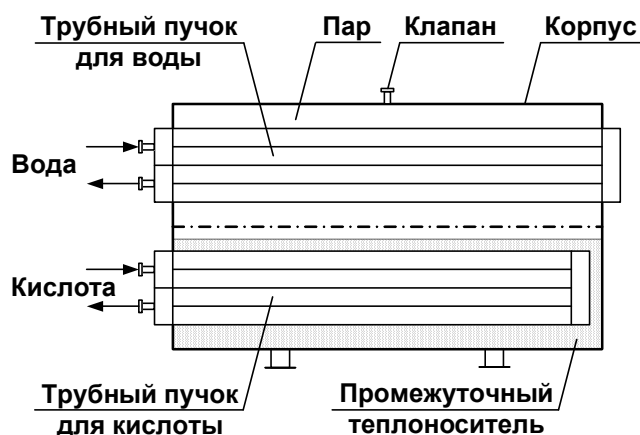


Рис. 5.5. Теплообменник с промежуточным теплоносителем

С целью соблюдения санитарно-гигиенических норм на всех производствах функционируют системы приточно-вытяжной вентиляции, что приводит к дополнительным потерям энергии. Потери можно уменьшить, регенерируя тепло удаляемого воздуха. Одна из схем для утилизации тепла вытяжного воздуха представлена на рис. 5.6, а.

В отличие от конструкции ранее рассмотренного высокотемпературного регенератора с неподвижной насадкой, в данном аппарате используются или подвижная насадка (рис. 5.6, б), или тепловые трубы (рис. 5.6, в). В первом случае теплый удаляемый воздух, омывая вращающуюся насадку, отдает ей тепло, а холодный отбирает тепло, нагревается и поступает в помещение, что позволяет снизить потребление энергии калорифером. Во втором случае тепловые трубы также размещаются во входном устройстве воздухопроводов. При этом в нижней части располагаются испарительные участки тепловых труб, а в верхней – участки конденсации.

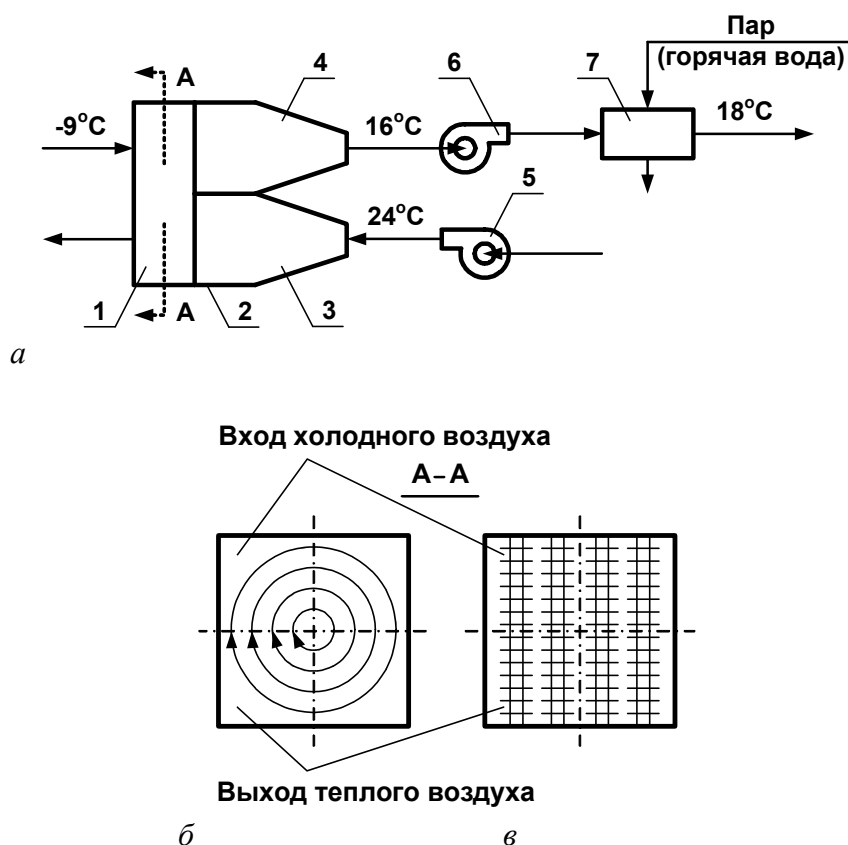


Рис. 5.6. Схема утилизатора тепла вытяжного воздуха (а) с регенеративной вращающейся насадкой (б) и тепловыми трубами (в):

1 – вращающаяся теплоаккумулирующая насадка; 2 – корпус; 3 – вытяжной воздухопровод; 4 – приточный воздухопровод; 5 – вытяжной вентилятор; 6 – приточный вентилятор; 7 – подогреватель воздуха

Тепловой трубой (ТТ) называется устройство для передачи тепла за счет осуществления фазовых переходов: испарения и конденсации, и переноса тепла путем циркуляции паровой и жидкой фаз при практически одной и той же температуре. Простейший вид тепловой трубы, так называемый испарительный термосифон (труба Перкинса), был изобретен в конце XIX в. Перкинсом; показан на рис. 5.7. В нижней части термосифона за счет подвода тепла жидкость испаряется, пар поднимается вверх, где происходит его конденсация за счет охлаждения, и образовавшийся конденсат под действием силы тяжести стекает по стенке цилиндра в виде жидкой пленки. Недостатком термосифона является то, что его ориентация должна быть близкой к вертикали и тепловой поток имеет одно направление – снизу вверх.

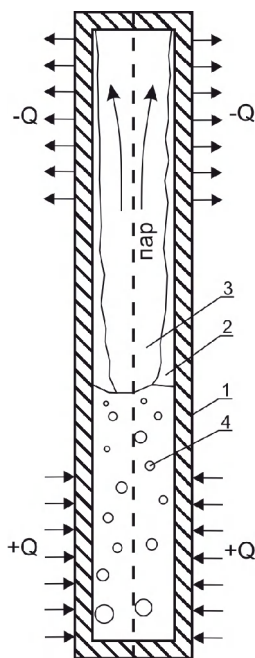


Рис. 5.7. Схема испарительного термосифона:
1 – корпус; 2 – пленка конденсата; 3 – пар; 4 – кипящая жидкость

Этот недостаток преодолен в тепловых трубах с капиллярно-пористой внутренней поверхностью, принцип работы которых представлен на рис. 5.8.

Жидкость перемещается в зону испарения путем фильтрации в пористой структуре за счет действия капиллярных сил (сил поверхностного натяжения). Пористая структура называется фитилем и может быть образована различными способами: микроканавки, резьба и шероховатости на внутренней поверхности; сетки; специальные насадки из пористой массы и др. Теплопередача в такой тепловой трубе не зависит от ее ориентации в

пространстве. В остальном принцип работы тепловых труб подобен термосифону. Потоки тепла, передаваемые тепловой трубой, выше на два-три порядка по сравнению с таким теплопроводным материалом, как медь. Для интенсификации теплообмена со стороны воздуха тепловые трубы снабжены оребрением.

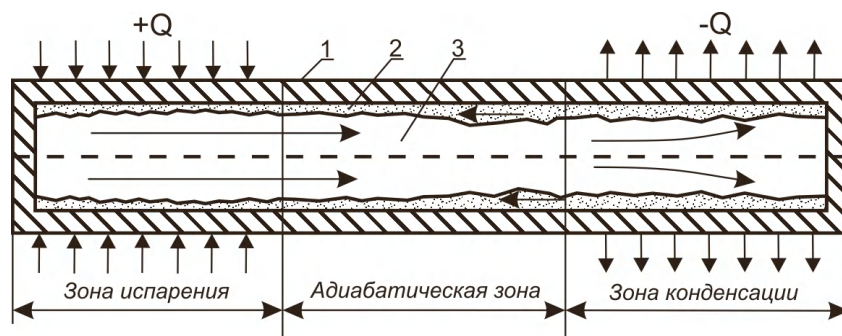


Рис. 5.8. Тепловая труба с капиллярно-пористой структурой:
1 – корпус; 2 – фитиль; 3 – паровое пространство

В качестве теплоносителя в тепловых трубах применяют: азот, фреоны, аммиак, метанол, воду, спирты, органические соединения, жидкие металлы.

В солнечных теплоэнергетических установках серьезной проблемой является концентрация рассеянной солнечной радиации, а также потери тепла при его передаче от нагревательного устройства. Тепловая труба длиной 4 м, которая является одновременно и осью вращения концентратора площадью 4 м², обеспечивает нагрев воды до 60 °С при эффективности 45 – 50 %. Имеются более сложные конструкции таких систем с размещением нескольких ТТ вдоль или поперек оси концентратора, что обеспечивает температуру нагрева до 300 °С и выше и может быть использована для генерации пара.

Кроме рассмотренных способов утилизации тепла вентиляционных выбросов, широко используются и рекуперативные теплообменники, в которых степень регенерации теплоты вытяжного воздуха может достигать 70 %, что позволяет почти вдвое сократить расходы топлива на отопление. При использовании теплообменников необходимо уделять особое внимание состоянию их поверхности. Образование отложений приводит к росту термического сопротивления, и эффективность утилизации тепловых ВЭР ухудшается. Кроме того, из-за отложений возрастают потери давления, а, следовательно, и мощность на прокачку рабочего вещества. Этот недостаток преодолевается периодической чисткой поверхностей теплообмена.

5.5. ВЭР избыточного давления

ВЭР избыточного давления могут быть использованы для производства механической работы, теплоты или холода.

Для примера рассмотрим использование ВЭР избыточного давления в системах распределения природного газа. В магистральных трубопроводах газ транспортируется под давлением 4,5 – 6,5 МПа. Затем на газораспределительных станциях (ГРС) давление снижается до 1,2 МПа. У конечных потребителей на газоредуцирующих пунктах (ГРП) давление уменьшается до более низких значений, соответствующих технологическим требованиям. В обоих случаях снижение давления происходит без совершения работы, т.е. имеют место непроизводительные потери энергии. Эту энергию можно использовать для производства электричества, установив газотурбинную расширительную станцию (ГТРС), а ГРП использовать как резервную систему. Схема ГТРС, которая может быть использована в системах газоснабжения ТЭЦ, дана на рис. 5.9. Для предотвращения выпадения конденсата на лопатках турбины газ перед подачей в турбину подогревается.

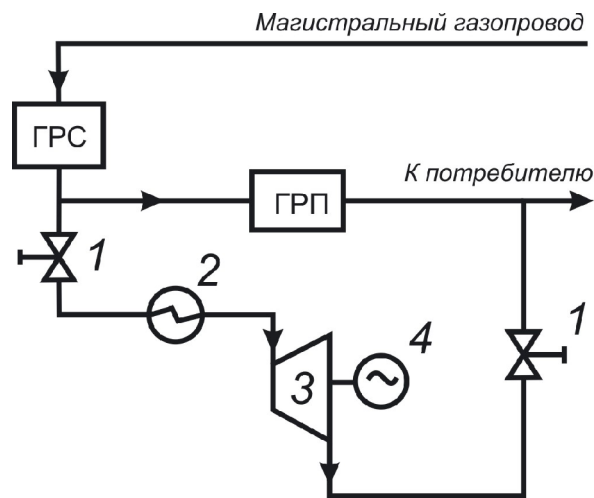


Рис. 5.9. Утилизация энергии избыточного давления в системе распределения природного газа:

1 – клапан; 2 – подогреватель; 3 – турбина; 4 – электрогенератор

Рассмотренные технические методы утилизации горючих, тепловых и избыточного давления вторичных энергоресурсов не исчерпывают все случаи, встречающиеся на практике. Однако они отражают общие подходы и принципы использования этих ресурсов. Во-первых, прежде чем исполь-

зовать ВЭР, необходимо знать, какими их видами мы располагаем. Во-вторых, необходимо обладать информацией об объемах выхода ВЭР и о возможной экономии топлива за счет их использования. В-третьих, реальные технические утилизационные устройства могут отличаться лишь конструкцией и некоторыми особенностями их работы.

5.6. Трансформаторы тепла

Трансформаторами тепла называются устройства для переноса энергии в форме теплоты от источников с низкой температурой к «потребителям» с более высокой температурой. К трансформаторам тепла относятся криогенные установки, холодильные машины, кондиционеры и тепловые насосы. По данным Международного института холода, на охлаждение, необходимое для хранения продуктов, и кондиционирование воздуха используется более 10 % мирового потребления электроэнергии. В некоторых странах в летнее время эта цифра превышает 25 % из-за пикового использования кондиционеров в полдень.

Трансформаторы тепла, применяемые в качестве тепловых насосов, позволяют повышать потенциал теплоты низкопотенциальных ВЭР и окружающей среды – атмосферного воздуха, грунта и водоемов.

Термин «тепловой насос» обязан аналогии с обычным насосом, перекачивающим жидкость на более высокий уровень.

Бытовые холодильники и промышленные холодильные установки являются наиболее распространенными тепловыми насосами. Они отбирают тепло от ограниченного объема продуктов внутри холодильной камеры и отдают это тепло в окружающую среду.

Тепловой насос – термодинамическая машина аналогичная холодильной машине. Промышленные тепловые насосы в зависимости от характера процесса разделяются на следующие типы:

- компрессионные;
- сорбционные;
- эжекторные (струйные).

Принципиальная схема *компрессионного теплового насоса* представлена на рис. 5.10.

Основными элементами теплового насоса являются: испаритель (теплоприемник), компрессор (преобразователь механической работы в теплоту), конденсатор (теплоотдатчик) и регулируемый дроссель для организации циклической работы трансформатора. Рабочее тело циркулирует в контуре и перемещается с помощью компрессора.

От источника теплота Q_0 передается рабочему телу в испарителе, где оно переходит из жидкого агрегатного состояния в газообразное и направляется в компрессор. Компрессор работает от привода. Первичная энергия $N_{\text{э}}$, потребляемая приводом компрессора, преобразуется в теплоту при совершении работы сжатия над рабочим телом, что является причиной повышения его давления и температуры, а, следовательно, и потенциала теплоты, подведенной к теплоприемнику. Далее рабочее тело поступает в конденсатор, где теплота Q_1 рабочего тела подается потребителю или окружающей среде. В дросселе давление понижается до первоначального, и цикл замыкается.

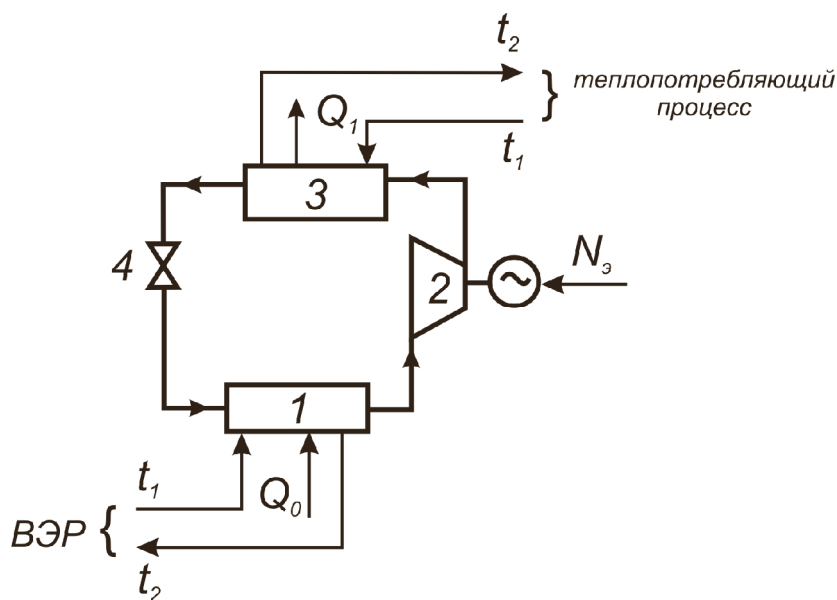


Рис. 5.10. Схема компрессионного теплового насоса:
1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – дроссель

Таким образом, потребляя электрическую энергию, теплонасосная установка забирает энергию от источника низкопотенциальной теплоты и, преобразуя ее в тепловую энергию более высокой температуры, передает потребителю.

Энергетическая эффективность теплового насоса оценивается величиной *коэффициента преобразования* ε , который равен отношению теплоты, произведенной насосом, к потребляемой электрической мощности:

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{N_{\text{э}}}, \text{ где } Q_1 = Q_0 + N_{\text{э}}.$$

Чем выше температура источника низкопотенциальной теплоты, больше его объем и ниже температура теплоносителя теплопотребляющего процесса, тем выше значение ε .

Тепловые насосы применяются для климатизации (обеспечения комфортных или допустимых параметров воздуха в производственных помещениях), горячего водоснабжения, технологических процессов сушки, варки и др. на промышленных предприятиях, для теплоснабжения жилищно-коммунальных потребителей и т.д. В качестве источника низкопотенциального тепла могут служить наружный воздух, грунт, поверхностные и подземные, оборотные и сточные воды, вытяжной воздух систем вентиляции и т.п. Располагаемый тепловой потенциал этого источника для обеспечения эффективности должен составлять не менее 40% расчетной тепловой нагрузки потребителя.

Рассмотрим некоторые направления применения тепловых насосов. В промышленности имеется большое количество сточных вод с температурой 30 – 40 °С, для повышения потенциала энергии которых могут использоваться тепловые насосы (рис. 5.11). Такие тепловые насосы выпускаются за рубежом. Источником теплоты в них могут быть сточные воды с температурой 18 – 54 °С. Температура получаемой горячей воды достигает 60 – 104 °С. Тепловая мощность данных насосов составляет 30 – 5 000 кВт с коэффициентом преобразования 3 – 6.

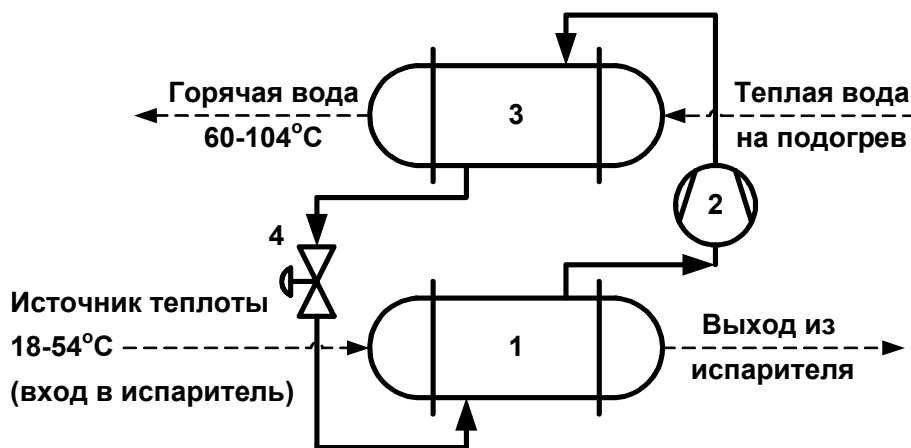


Рис. 5.11. Тепловой насос для утилизации низкопотенциальной теплоты промышленных сточных вод:

1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – дроссель

Во многих производствах используются процессы сушки сырья, промежуточной и готовой продукции. Данный процесс осуществляется с

помощью сушильного агента, чаще всего воздуха. Осушаемый материал помещается в камеру, где организуется циркуляция подогретого сушильного агента, который поглощает влагу (рис. 5.12, а). Данная схема является разомкнутой. Сушильный агент постоянно или периодически обновляется путем удаления в атмосферу, и тем самым влажность материала постепенно снижается до требуемой величины. Обычно сушильный агент поступает в атмосферу с температурой 30 – 70 °С.

Энергопотребление для проведения сушки можно понизить, применив тепловой насос, который устанавливают вместо рекуператора. Сушильный агент, проходя через конденсатор, нагревается и направляется в технологическую камеру. При этом для обеспечения надежности получения заданных параметров агента имеется резервный нагреватель, но с меньшей мощностью, чем в прототипе (рис. 5.12, б). После удаления из камеры сушильный агент поступает в испаритель теплового насоса, где охлаждается и передает теплоту рабочему веществу трансформатора тепла. Рабочий цикл замыкается.

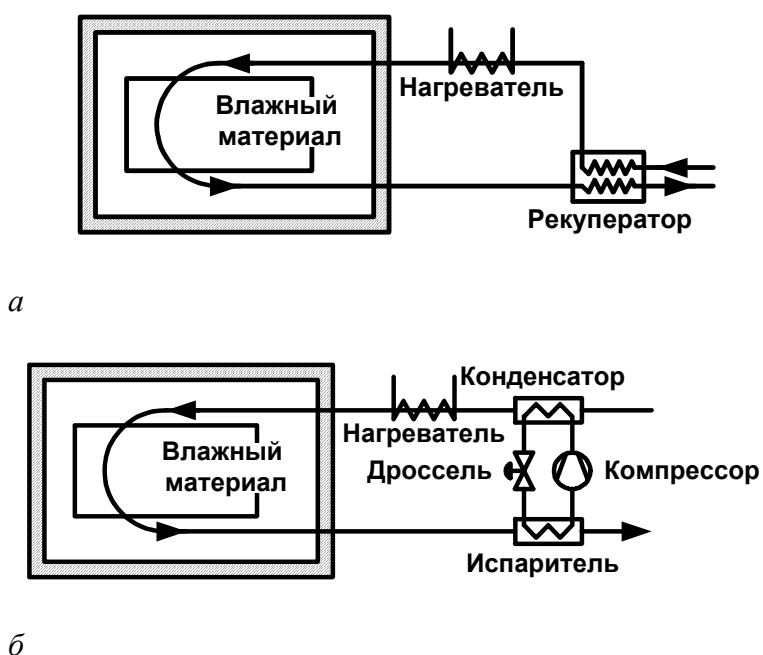


Рис. 5.12. Схемы процесса сушки:
а – традиционная; б – разомкнутая с тепловым насосом

В промышленности, где наряду с низкопотенциальными тепловыми имеются и высокопотенциальные тепловые ВЭР, применяются **сорбционные трансформаторы тепла**. Принцип работы сорбционных тепловых насосов основан на последовательном осуществлении термохимических реакций поглощения (сорбции) рабочего тела сорбентом с вы-

делением тепла и выделения (десорбции) рабочего тела из сорбента с поглощением тепла. Эти установки, в свою очередь, подразделяются на абсорбционные и адсорбционные. В первых используются жидкие сорбенты, поглощающие газообразные вещества всей массой, во вторых – твердые, поглощающие вещества поверхностным слоем. В абсорбционных трансформаторах в качестве рабочего вещества используются двухкомпонентные (бинарные) смеси с различной температурой кипения. Рабочий агент имеет более низкую температуру кипения, а поглотитель (абсорбент) более высокую. Наиболее распространенными являются водоаммиачные и бромисто-литиевые смеси.

В *эжекторных (струйных)* тепловых насосах роль компрессора выполняет эжектор. Их принцип основан на использовании кинетической энергии потока пара или газа для повышения давления рабочего тела. Струя пара или газа, выходящая с большой скоростью из сопла, создает эжектирующий эффект, в результате которого происходит всасывание, а затем и сжатие рабочего тела. Эжекторные теплонасосные установки работают как в открытом (термокомпрессоры), так и в замкнутом цикле.

Внедрение тепловых насосов обеспечивает, кроме экономии первичного топлива, снижение загрязнения окружающей среды, повышает уровень комфортности в помещениях, экономичность и надежность работы технологического оборудования, сокращает потребление водных ресурсов и объемы сточных вод.

По экспертной оценке, технически возможная экономия первичного топлива при внедрении тепловых насосов на объектах Республики Беларусь составляет ежегодно около 0,6 млн т у.т. Согласно Государственной программе «Энергосбережение», в Беларуси организуется производство и внедрение тепловых насосов «воздух-вода», «вода-вода», «воздух-воздух» на промышленных предприятиях, объектах жилищно-коммунального хозяйства, решается проблема интеграции тепловых насосов в действующие системы теплоснабжения.

Примеры применения тепловых насосов в республике – система утилизации теплоты оборотной воды на Борисовском заводе пластмассовых изделий, вытяжного воздуха трансформаторного зала на станции метро «Тракторный завод» Минского метрополитена. Использующие теплоту наружного воздуха тепловые насосы «воздух-вода» (срок окупаемости 2 – 4 года) предполагается устанавливать на свободных площадках котельных, тепловых пунктов и узлов системы теплоснабжения для обеспечения

бесперебойного горячего водоснабжения жилых районов в летний и переходный периоды года. Предусматривается широкое применение тепловых насосов для теплоснабжения прачечных, физкультурно-оздоровительных комплексов, жилых районов за счет утилизации теплоты загрязненных сточных вод.

Контрольные вопросы

1. Что такое энергетические отходы? Назовите их виды.
2. Что такое ВЭР? Как они классифицируются?
3. Как рассчитать удельный и общий выход ВЭР?
4. Как рассчитать возможную выработку теплоты в утилизационной установке?
5. Какие источники и виды горючих ВЭР есть в Беларуси?
6. Приведите технологическую схему утилизации древесных отходов с целью получения энергии.
7. Назовите устройства для утилизации тепловых ВЭР.
8. Приведите примеры использования тепловых ВЭР.
9. Чем отличаются испарительный термосифон и тепловая труба?
10. С помощью каких устройств утилизируются ВЭР избыточного давления?
11. Для чего предназначены трансформаторы тепла?
12. Объясните принцип работы компрессионного теплового насоса.
13. Каков принцип работы сорбционных трансформаторов тепла?
14. Объясните принцип работы эжекторного теплового насоса.

Тема 6

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Электричество является наиболее удобным и широко распространенным видом энергии. В Беларуси его получают путем преобразования первичной энергии топлива, а также закупают за рубежом. При генерировании электричества приблизительно лишь треть первичной энергии преобразуется в электроэнергию. Поэтому проблема ее эффективного использования является актуальной. Имеются законодательные акты, регулирующие потребление электроэнергии нормированием и использование гибких тарифов. В Беларуси за превышение потребления электроэнергии сверх нормы, использование ее на отопление взимается оплата по более высоким расценкам.

Электричество применяется в быту, технологических процессах и вспомогательных системах различных производств. В процессе транспортировки, распределения и потребления электроэнергии имеют место ее непроизводительные потери, которые складываются из неизбежных и дополнительных.

Дополнительные потери электроэнергии обусловлены:

- несовершенством системы электроснабжения;
- ухудшением качества электроэнергии;
- технологическими потерями;
- недостатками в организации производства.

Рассмотрим пути повышения энергоэффективности при использовании электричества наиболее распространенными конечными потребителями: системами искусственного освещения, электроприводами, электротермическими и бытовыми устройствами.

6.1. Искусственное освещение

Освещение используется во всех сферах деятельности. В промышленности на освещение в среднем расходуется до 10% потребляемой энергии. В сфере услуг и развлечений этот показатель может достигать 25%. Основными элементами системы освещения являются осветительные приборы, включающие источники света и арматуру. Осветительные приборы характеризуются потребляемой мощностью, световым потоком и освещенностью поверхности.

Световой поток Φ равен энергии, излучаемой источником и переносимой сквозь поверхность за единицу времени. Световой поток измеряется

в люменах (лм). Например, лампа накаливания мощностью 100 Вт излучает 1 750 лм.

Освещенностью поверхности E называют отношение приходящегося на нее светового потока к ее площади S :

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Освещенность измеряется в люксах (лк).

Эффективность источников света характеризуется световой отдачей C_o , которая определяется как отношение освещенности к потребляемой мощности. На практике удобнее выражать световую отдачу в лк/Вт, т.к. освещенность непосредственно измеряется с помощью люксметра.

Лампы накаливания в 2 и более раз по своей эффективности ниже других типов источников света (галогенных, ртутно-вольфрамовых, люминесцентных и др. ламп). Обычные лампы накаливания лучше заменить на более эффективные. Например, люминесцентные лампы потребляют электроэнергии в 6 раз меньше. Тем не менее, даже у наилучших источников света КПД составляет 30 %.

Замена существующих источников света с суммарным годовым потреблением электроэнергии W_{Γ} (кВт·ч/год) более эффективными источниками позволяет получить экономию энергии

$$\Delta W = W_{\Gamma} \cdot (1 - K_{эф} \cdot K_z),$$

где $K_{эф} = C_o / C_{o_n}$ – коэффициент эффективности замены источника света;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий снижение светового потока лампы в течение срока службы;

C_o – светоотдача существующего источника света;

C_{o_n} – светоотдача предлагаемого для установки источника света.

Экономия электроэнергии зависит от сочетания и размещения светильников. Использование одной более мощной лампы накаливания или люминесцентной позволяет уменьшить потребление энергии без снижения освещенности.

Использование комбинированного общего и местного освещения, искусственного и естественного освещения позволяет уменьшить потребление электроэнергии. В соответствии с санитарно-гигиеническими ограничениями нельзя использовать только местное освещение рабочих мест. Оно должно обязательно дополняться общим с пониженной освещенностью. Общая освещенность считается достаточной, если на 1 м² площади

пола приходится от 15 до 20 Вт мощности ламп накаливания. При использовании дополнительного местного освещения общую освещенность уменьшают. За счет этого мероприятия потребление энергии снижается в 1,5 – 2 раза.

Запыленные окна поглощают до 30 % светового потока. Регулярная протирка остекления позволяет снизить продолжительность горения ламп при двухсменной работе предприятия на 15 % в зимнее время и на 90 % – в летнее.

Эффективным является пакетный способ размещения светильников вместо линейного. При линейном способе осветительная арматура располагается в виде отдельных линий, а при пакетном – над рабочим местом располагают несколько светильников. Практика показала, что один и тот же уровень освещенности рабочего места при пакетном способе поддерживается в 2 раза меньшим числом светильников.

При отсутствии необходимости освещение следует отключать, что уменьшает затраты электроэнергии. Кроме ручного управления освещением для этих целей применяются автоматизированные системы на основе программного управления или реагирующие на изменение уровня освещенности. Системы регулирования и управления освещением позволяют сократить потребление электроэнергии на 5 – 15 %.

Замена светильников – наиболее эффективное комплексное мероприятие, включающее замену источников света, расположение мест освещения и в целом повышающее КПД использования электроэнергии на освещение.

Большое значение имеют условия эксплуатации и плановые ремонты, предусматривающие своевременные осмотры, чистки, замены ламп и комплектующих. Регулярная чистка ламп и светильников и замена ламп после нормативного срока службы увеличивают световую отдачу на 10 – 15 %.

6.2. Электропривод

Для преобразования электрической энергии в механическую используется электропривод. В промышленности электропривод является основным потребителем электроэнергии, на долю которого приходится до 60% ее потребления. Особенностью электропривода является то, что цена электроэнергии, расходуемой ежегодно средним двигателем, в пять раз превышает цену самого двигателя. Это является мощным стимулом для энергосбережения.

Парк электроприводов в подавляющем большинстве составляют не-регулируемые трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. В настоящее время лишь 5 – 10 % электроприводов являются управляемыми и используются в установках со сложными технологическими процессами. В промышленности до 60 % энергопотребления приходится на привод центробежных механизмов: насосов, компрессоров, вентиляторов.

Рассмотрим основные подходы к повышению эффективности электроприводов.

Мощность двигателя должна соответствовать нагрузке. Если двигатель перегружен, он быстро выходит из строя, если недогружен – снижаются его КПД и коэффициент мощности. При загрузке менее 45 % его следует заменить, при загрузке более 70 % замена нецелесообразна.

Использование более качественных конструкционных материалов в статорах и роторах уменьшит постоянную составляющую активных потерь на 2 – 5 %.

В случае переменной нагрузки или частых простоев электродвигателей следует применять системы управления. Управление может осуществляться дросселированием, включением-отключением и пускорегулирующими устройствами.

При регулировании дросселированием снижение потребления электроэнергии относительно исходной номинальной мощности двигателя будет минимальным. Это объясняется тем, что изменение расхода рабочего вещества должно быть скомпенсировано потерями в системе. В этом случае даже при уменьшении расхода до нуля будет потребляться более половины номинальной мощности.

Второй способ регулирования включением-отключением не всегда применим, особенно при частом изменении нагрузки, т.к. по регламенту двигатели в течение суток могут запускаться и останавливаться ограниченное число раз из-за электродинамических и тепловых перегрузок.

Наиболее эффективным способом регулирования является изменение частоты вращения, что обеспечивает согласованность работы электродвигателя и нагрузки с практически постоянным КПД при значительном снижении потребляемой мощности по сравнению с дросселированием. Частота вращения двигателя меняется в зависимости от сигнала, вырабатываемого технологическим регулятором или задаваемого программно. При внедрении регулируемого электропривода достигается экономия энергии: 50 % для вентиляционных систем, 25 % для насосов, 30 % для воздуходувок и вентиляторов и 40 – 50 % для компрессоров.

Мощность потребления энергии электродвигателями центробежных механизмов определяется формулой

$$N = \frac{\Delta P \cdot G}{\rho \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3},$$

где ΔP – потери давления в сети, Па;

G – массовый расход, кг/с;

ρ – плотность рабочего вещества, кг/м³;

η_1, η_2, η_3 – КПД соответственно двигателя, передачи и центробежного механизма (насоса, компрессора или вентилятора).

6.3. Электротермические установки

Электротермические установки (ЭТУ) служат для преобразования электрической энергии в теплоту, которая используется для обработки сырья, материалов и изделий. Они классифицируются по принципу работы на печи и установки нагрева сопротивлением, индукционного и диэлектрического нагрева, печи электродугового нагрева и установки плазменного, лучевого и лазерного нагрева.

Электрическая мощность N электропечей равна полезному тепловому потоку, требуемому для нагрева обрабатываемого материала. Установленная мощность печи обычно выше.

$$N_{уст} = k \cdot \frac{N}{\eta_{\text{Э}} \cdot \eta_{\text{T}}},$$

где $k = 1,1 - 1,6$ – коэффициент запаса мощности печи, учитывающий увеличение тепловых потерь в процессе эксплуатации, колебание напряжения сети, старение нагревателей, необходимость форсированного нагрева. Коэффициент запаса зависит от типа ЭТУ и ее мощности;

$\eta_{\text{Э}}, \eta_{\text{T}}$ – электрический и тепловой КПД. Самым высоким КПД обладают печи и установки нагрева сопротивлением ($\eta_{\text{Э}} = 0,9 \div 1,0$; $\eta_{\text{T}} = 0,7 \div 0,9$).

На основе опыта эксплуатации ЭТУ выработаны следующие рекомендации по экономии энергии:

- увеличение загрузки печи в 2 раза за счет рациональной укладки материала сокращает расход электроэнергии на 40 %;
- использование печей с загрузкой менее 70 % не разрешается;
- уменьшение массы загрузочной тары снижает расход электроэнергии. Масса тары не должна превышать 10 % обрабатываемого изделия;

- использование современных теплоизоляционных материалов снижает расход электроэнергии на 20 – 25 % и сокращает время разогрева на 30 %.
- улучшение герметичности печей;
- применение автоматического регулирования температуры, форсированного разогрева в начале процесса снижает расход электроэнергии до 25 %.

6.4. Использование электроэнергии в быту

В быту используются разнообразные электроприборы, которые расходуют до 30 % энергии от общего электропотребления. Усредненные данные о годовом потреблении электроэнергии некоторыми бытовыми электроприборами даны в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Данные о потреблении электроэнергии бытовыми приборами

Электроприбор	Потребление, кВт ч/год
Лампа накаливания 60 Вт	263 (из расчета 12 ч работы в сутки)
Энергосберегающая лампа 9 – 11 Вт	44 (из расчета 12 ч работы в сутки)
Холодильник	584
Посудомоечная машина	475
Электропечь	440
Морозильный аппарат	427
Стиральная машина	275
Телевизор	180
Видеомагнитофон	150
Пылесос	65
Компьютер	40
Аудиоаппаратура	35
Утюг	30

Меры по рациональному использованию электроэнергии в быту:

1. Отключение тех электроприборов, для которых предусмотрено дистанционное управление (телевизор, радиотелефон), не только на ночь, но и в тот период, когда ими не пользуются, поскольку они потребляют электроэнергию, будучи подключенными к сети.
2. Использование стиральной машины при полной загрузке, настраивая ее на как можно меньшую температуру. Следует помнить, что на стирку при температуре +90 °С тратится в 3 раза больше энергии, чем на стир-

ку при температуре +40 °С. При этом известен тот факт, что стиральный порошок растворяется и активно реагирует с грязным бельем при температуре +40 °С.

3. Холодильники и морозильники являются одними из самых значительных потребителей электроэнергии в квартире. На их долю приходится примерно 40 % всей электроэнергии в наших квартирах. Добиться снижения расхода до 25 % электричества можно, если следовать нескольким простым принципам:

- регулярно размораживать холодильник во избежание образования в морозильной камере льда толщиной более 5 – 10 мм;
- устанавливать эти приборы на значительном расстоянии от нагревательных элементов и в местах, не подвергающихся воздействию прямых солнечных лучей;
- обеспечить вокруг холодильника свободное пространство не менее 1 – 2 см;
- класть в холодильник и морозильник только холодные продукты;
- обращать внимание на плотность примыкания дверей к корпусу;
- держать дверцу открытой как можно меньше;
- удалять не реже одного раза в год пыль с обратной стороны приборов;
- отключать холодильник от электросети, если семья уезжает из квартиры на несколько дней.

4. Использование газовых плит является с точки зрения экономии лучшим вариантом, чем приготовление пищи на электроплитах. Но если в квартире установлена электроплита, то экономии электроэнергии можно достигнуть за счет:

- подбора кастрюли или сковороды с идеальной плоской внешней поверхностью, диаметр дна которых должен быть примерно на 3 см больше диаметра нагревательной поверхности плиты;
- выключения электроплиты на несколько минут раньше окончания варки или жаренья продуктов;
- использования посуды с крышкой;
- добавления оптимального количества воды;
- форсированного разогрева конфорок и доведения жидкости до кипения с последующим снижением мощности при варке блюд до готовности;
- удаления нагара и грязи с днищ посуды;
- кипячения воды в электрочайнике, т.к. у него КПД выше.

5. При покупке электробытовых приборов в первую очередь необходимо интересоваться не только ценой, но и энергосберегающими параметрами, и лишь сопоставив цену с эксплуатационными расходами, следует принимать решение о возможности приобретения нужного электробытового товара.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуются осветительные приборы?
2. Какие мероприятия позволяют снизить потребление электроэнергии на освещение?
3. Для каких целей используют электропривод?
4. Какие мероприятия позволяют снизить потребление энергии электроприводами?
5. Какие способы регулирования производительности центробежных механизмов используются? Какие из них позволяют достичь максимального снижения потребления электроэнергии?
6. Каково назначение электротермических установок?
7. Какие мероприятия приводят к экономии энергии в электротермических установках?
8. Как добиться снижения потребления электроэнергии при использовании бытовых электроплит и холодильников?

Тема 7 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

7.1. Тепловой режим зданий

Здания и сооружения являются крупными потребителями тепловой энергии. Только на жилой фонд зданий Беларуси приходится 39 % потребления вырабатываемого тепла. Оценки показывают, что в фонде жилых и нежилых зданий может быть сэкономлено в год за счет энергосберегающих мероприятий около 50% потребляемой энергии.

Для определения эффективности использования энергии в зданиях удобной единицей измерения является кВт·ч/(м²·год) или МДж/(м²·год). В Беларуси потребление энергии на отопление жилья составляет от 80 до 120 МДж/(м²·год). В Финляндии, где климат более суровый, этот показатель равен 45 – 50 МДж/(м²·год). Теплопотери через ограждающие конструкции зданий у нас составляют до 80 % всех общих потерь тепла, в развитых странах Западной Европы они составляют 38 – 44 %, т.е. в 2 раза меньше. Потери энергии через ограждающие конструкции распределяются следующим образом:

- через стены – 42 – 49 %;
- через окна – 32 – 35 %;
- подвальные и чердачные перекрытия – 11 – 18 %;
- через входные двери – 5 – 15 %.

В многоэтажных зданиях потери тепла через подвальные и чердачные перекрытия будут минимальными.

На тепловой режим здания существенное влияние оказывает наружный климат, который определяют солнечная инсоляция, температура и влажность воздуха, ветер. При проектировании ориентация зданий выбирается с учетом розы ветров и потоков энергии, поступающих от Солнца. С увеличением скорости ветра интенсифицируется теплообмен со стороны наружного воздуха, растут теплопотери, а при ориентации фасада на юг за счет прогрева стеновых ограждений они уменьшаются. При увлажнении ограждающих поверхностей с последующим испарением влаги теплопотери дополнительно увеличиваются. Значение температуры наружного воздуха является исходным параметром при проектировании как ограждающих конструкций, так и систем отопления. С уменьшением минимальной расчетной температуры воздуха самого холодного месяца в году возрастает мощность отопительной системы. Средняя расчетная минимальная температура наружного воздуха самого холодного месяца в году для Минска

равна $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средняя расчетная скорость ветра этого периода равна 5 м/с . Все рассмотренные параметры должны учитываться при проектировании зданий и систем отопления.

7.2. Приближенный метод расчета потерь тепла

Потери тепла в зданиях обусловлены теплопередачей Q_T и инфильтрацией (воздухообменом) Q_{II} . Тепловой поток, характеризующий потери,

$$Q = Q_T + Q_{II}.$$

Уравнение теплопередачи через плоскую стенку имеет вид:

$$Q_T = k \cdot \Delta t \cdot F = \left(\frac{1}{\alpha_B} + R_i + \frac{1}{\alpha_H} \right)^{-1} \cdot (t_B - t_H) \cdot F,$$

где k – коэффициент теплопередачи;

Δt – температурный напор;

F – поверхность теплообмена;

α_B – коэффициент теплоотдачи воздуха со стороны помещения;

α_H – коэффициент теплоотдачи со стороны наружного воздуха;

$R_i = \sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda_i$ – термическое сопротивление многослойного однород-

ного ограждения;

δ_i – толщина i -того слоя материала стенки;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -того слоя материала стенки;

t_B и t_H – соответственно температуры воздуха внутри и снаружи помещения.

В соответствии со строительными нормами и правилами для приближенных расчетов можно принять значения коэффициентов теплоотдачи α_B и α_H , которые соответственно равны $8,7$ и $23\text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Тепловой поток за счет воздухообмена через неплотности в конструкции здания определяется объемным расходом воздуха V_B , который может быть выражен через коэффициент инфильтрации m . Коэффициент инфильтрации – это кратность воздухообмена помещения объемом V_{II} за 1 ч . Тогда

$$Q_{II} = \rho_B \cdot V_B \cdot c_{PB} \cdot (t_B - t_H) = \frac{m \cdot V_{II} \cdot \rho_B \cdot c_{PB}}{3600} \cdot (t_B - t_H) = \frac{m \cdot V_{II}}{3} \cdot (t_B - t_H),$$

где ρ_B – плотность воздуха, кг/м³;
 c_{PB} – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);
 $\rho_B \cdot c_{PB} \approx 1\,200$ Дж/(м³ К).

Потери тепла через стены, полы и потолки различаются, и для каждой поверхности их необходимо рассчитывать отдельно. В общем случае суммарные потери тепла в помещении

$$Q = \left(\sum_{i=1}^n k_i \cdot F_i + \frac{m \cdot V_{II}}{3} \right) \cdot (t_{II} - t_H).$$

Основными направлениями повышения эффективности использования энергии в существующих зданиях являются: утепление и внедрение систем регулирования отпуска тепла.

Первое направление относится к пассивным методам энергосбережения, а второе – к активным. Вначале следует утеплять здания, а затем устанавливать системы регулирования отпуска тепла.

7.3. Утепление зданий

Утеплять необходимо здания, которые находятся в эксплуатации и построены по старым строительным нормам.

Исследования, проведенные в США, показывают, что за счет теплоизоляции зданий могут быть существенно снижены теплотери:

- через крышу и чердачное помещение на 80 %;
- через стены на 60 %;
- за счет уплотнения оконных рам на 70 %;
- за счет двойного остекления на 60 %;
- через пол на 75 %.

Для уменьшения потерь через ограждающие конструкции применяются теплоизоляционные материалы с коэффициентом теплопроводности меньше 0,2 Вт/(м·К). В настоящее время выпускается широкий спектр изоляционных материалов, применяемых в строительстве: минеральная вата, утеплители на основе стекловолокна и стеклотканей, полистирол, пенопласт и др.

В современном строительстве стеновые конструкции для облегчения делают многослойными. Утеплитель, как правило, располагают между слоями из бетона или кирпичной кладки. При утеплении существующих зданий утеплитель может крепиться на наружной или внутренней стене. Предпочтительней изоляцию проводить снаружи, т.к. в противном случае

сокращается полезная площадь помещений, возникает необходимость переноса электрооборудования, имеется вероятность выпадения конденсата и образования плесени, требуется выселение жильцов на время ремонта. Внутреннюю теплоизоляцию стен обычно проводят для зданий, являющихся памятниками архитектуры.

Разработаны и внедрены различные технологии теплоизоляции существующих зданий. Стеновые конструкции утепляют плитными материалами, закрепляемыми на стенах, поверх которых наносится штукатурка или другие защитные влагостойкие материалы. Одним из наиболее распространенных утеплителей является минеральная вата. Утепление стен повышает комфортные условия в помещении. Температура внутренней поверхности стены увеличивается с 13 – 14 до 18 – 19 °С, что ведет к уменьшению излучения. При этом относительная влажность в стеновой конструкции уменьшается с 82 до 36 %, снижая риск конденсации и разрушения.

В Беларуси уже появилась собственная многослойная система утепления, все компоненты которой (за исключением минераловатных плит утеплителя) производятся отечественными заводами. В 1996 г. специалистами СКТБ «Сармат» разработана система утепления фасадов легким теплоизоляционным материалом с защитой тонкослойной армированной штукатуркой, получившая название «Термошуба», которая прошла необходимые испытания и выдержала расчетные требования. Термошуба позволяет выполнять работы при отрицательных температурах – до минус 12 °С. Это несомненное достоинство системы позволяет значительно увеличить строительный сезон, а в условиях Беларуси – выполнять их практически круглогодично.

Термошуба представляет собой многослойную конструкцию из плиты-утеплителя, прикрепленной к подготовленной поверхности стен специальным клеящим составом и анкерами, защитного покрытия из клеящего состава, армированного одним – двумя слоями сетки в сочетании с металлическими профилями и отделочного покрытия из тонкослойной штукатурки. Утеплитель может крепиться к стене механическим способом, а жесткая облицовка устраивается на специальных каркасах с образованием воздушной прослойки между плитой утеплителя и облицовкой. В качестве теплоизоляционного материала в этих конструкциях применяются жесткая минераловатная плита и пенополистирол.

В 1998 г. система «Термошуба» рекомендована к массовому применению. Окупаемость затрат на утепление зданий методом «Термошуба» составляет в зависимости от толщины утеплителя и конструктивных особенностей зданий 4 – 12 лет.

С 1999 г. введены в действие СНиП 3.03.01-87 «Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий методом «Термошуба».

Среди зарубежных следует упомянуть две технологии утепления стен с наружной стороны: фасадное утепление под штукатурку, аналогичное отечественной «термошубе», и вентилируемые фасады. Вторым вариантом утепления представляет собой устанавливаемый на стену несущий каркас с вентилируемым теплоизоляционным слоем и последующей защитой из специальных фасадных плит.

Для теплоизоляции перекрытий применяются как плитные, так и насыпные материалы. Для утепления крыш весьма удобными являются рулонные материалы, укладываемые между стропилами. При утеплении крыш и перекрытий дополнительно используются парозащитные пленки, которые препятствуют выпадению конденсата. Эффективность изоляции крыш и чердачных перекрытий выше у малоэтажных зданий, чем у многоэтажных. Для одно- или двухэтажного коттеджа потери уменьшаются на 20%, а для девятиэтажного дома – на 3,5 %.

Наибольшие потери тепла сосредоточены в мостиках холода (рис. 7.1). Различают геометрически обусловленные мостики холода и обусловленные конструкцией и материалами.

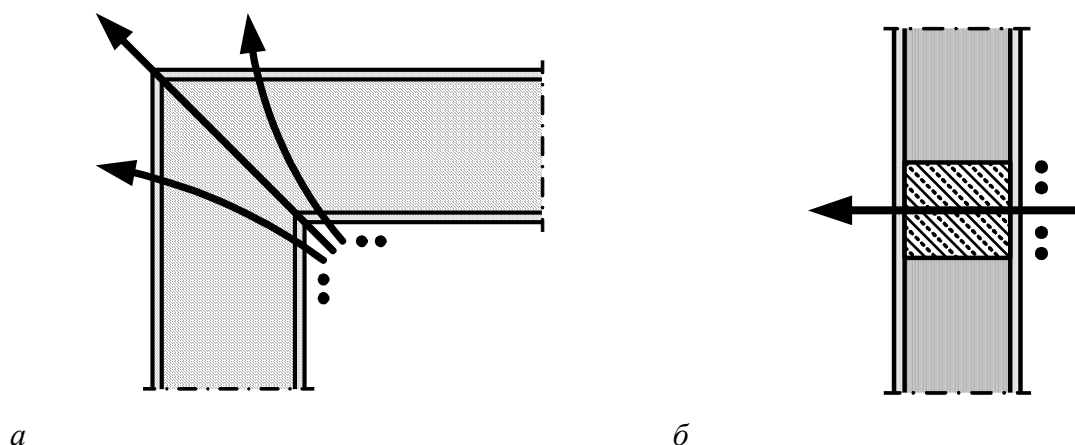


Рис. 7.1. Мостики холода:

- а – геометрически обусловленный в угловой части здания;
- б – обусловленный использованием железобетонной балки в кирпичной кладке

В первом случае потери тепла возрастают за счет увеличения наружных поверхностей теплообмена в углах зданий и при наличии выступов. Во втором – за счет отличий теплотехнических свойств материалов стен и опор перекрытия, перемычек. Например, кирпичная кладка и железобетон имеют коэффициенты теплопроводности 0,7 и 1,5 Вт/(м К).

Специальные приемы теплоизоляции мостиков холода позволяют снизить теплопотери приблизительно в два раза.

Значительное количество тепла теряется через окна. В домах старой постройки значение коэффициента теплопередачи окон может достигать 3,5 Вт/(м²·К). При этом потери составляют почти 50 % от тепла, потребляемого на отопление. В настоящее время на основе деревянных, пластиковых или алюминиевых профилей внедрены современные окна с коэффициентом теплопередачи 0,8 – 1,5 Вт/(м²·К). Окна изготавливаются в виде стеклопакетов с 2, 3 или 4 стеклами. Стеклопакеты обеспечивают высокую герметичность. При качественном уплотнении швов между стеной и оконной коробкой коэффициент инфильтрации приближается к нулю.

Эффективным является также использование ленточного утеплителя по всему периметру оконных притворов.

Для уменьшения потерь за счет воздухообмена необходимо провести тщательное уплотнение между оконной коробкой и стеновой конструкцией и в оконных притворах. Наиболее экономична вентиляция не за счет постоянного естественного воздухообмена, а за счет кратковременной вентиляции с большим расходом воздуха при периодическом открытии окон.

Тепло теряется также через дверные проемы или ворота и технологические проемы цехов производственных зданий. Потери будут значительными при больших людских и грузовых потоках. Их уменьшение может быть достигнуто за счет сооружения входных тамбуров и организации воздушных завес.

При реконструкции с использованием эффективных материалов можно сократить потери тепла в 2 – 3 раза, но это дорого. В то же время каждый имеет много возможностей для утепления своей квартиры:

- остекление лоджий и балконов. Стекла и притворы створок должны быть уплотнены. При этом потери через окна и стены, расположенные со стороны лоджии, будут снижены на 15 – 18 %. Снижение потерь на 7 – 9 % позволяет увеличить температуру в помещении на 1 °С. Таким образом, остекление увеличит температуру в примыкающей к ней комнате на 2 °С;
- установка между рамами прозрачной полиэтиленовой пленки таким образом, чтобы расстояние от нее до стекол было одинаковым. Это равноценно окну с тройным остеклением и снижает теплотери на 20 %;
- тепловая защита того участка наружной стены, где расположен радиатор. На стене за радиатором с зазором между стенкой и радиатором ставят отражающую поверхность (алюминиевая фольга, зеркальная алюминизированная пленка).

Чем ниже температура воздуха на улице, тем лучше работает естественная вытяжная вентиляция, часто лучше, чем надо. Поэтому зимой надо

прикрыть вытяжные вентиляционные отверстия (неполностью) бумагой, картоном. В ванной вообще закрыть, чтобы увлажнять воздух в квартире, т.к. зимой он излишне сухой. Это хорошо скажется на микроклимате квартиры, потому что влажный воздух дает ощущение теплоты, а сухой – холода. Это позволяет сберечь до 20 % тепла.

7.4. Регулирование теплотребления в зданиях

Для увеличения эффективности использования теплоты в системах отопления после утепления зданий необходимо выполнить второй этап программы – внедрить системы регулирования отпуска тепла.

Вначале рассмотрим особенности существующих систем отопления. В 60 – 70-х годах в эксплуатацию сдавались однотрубные системы (рис. 7.2, а) с последовательным соединением отопительных приборов.

Данные системы имеют два основных недостатка:

- получение потребителями различного количества тепла, т.е. нахождение в неравных условиях по теплотреблению, поскольку теплоноситель, последовательно проходя через отопительные приборы, постепенно охлаждается;
- невозможность индивидуального регулирования потребления тепла на отопительном приборе, так как такая регулировка сразу отражается на всех последовательно соединенных приборах. Изменяя расход на одном приборе, мы тем самым изменяем его на всех.

Таким образом, однотрубные системы отопления ставят потребителей тепла в неравные условия и исключают возможность индивидуального регулирования отопительных приборов.

Недостатков, присущих однотрубным системам отопления, лишены двухтрубные системы с параллельным соединением отопительных приборов (рис. 7.2, б). К отопительным приборам подводится теплоноситель практически с одинаковой температурой. Изменение расхода теплоносителя в одном приборе от максимального до нулевого значения не влияет на работу остальных приборов, подключаемых к системе отопления.

Модернизация системы отопления дает возможность на каждом приборе установить термостатирующий вентиль (радиаторный терморегулятор) для индивидуального регулирования отпуска тепла. Установка таких терморегуляторов позволяет за отопительный сезон сэкономить приблизительно 15 % энергии. Понижение температуры в отапливаемом помещении на 1 °С уменьшает потребление энергии на 7 %.

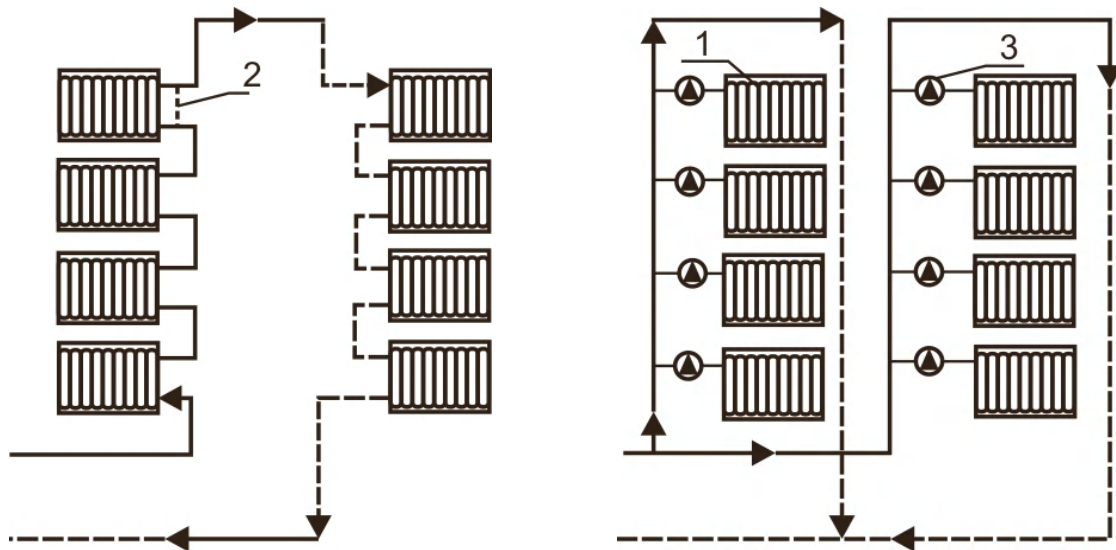


Рис. 7.2. Системы подсоединения отопительных приборов в домах старой застройки (а) и в домах после модернизации (б):

1 – отопительный прибор; 2 – байпас; 3 – термостатирующий вентиль;

Сплошная линия – подающий теплопровод; пунктирная – обратный теплопровод

Кроме индивидуального регулирования отпуска тепла на отопление, имеются системы регулирования для подачи тепла в отдельные здания или группы зданий. Эти системы размещаются в тепловом пункте, в котором регулируется процесс обмена теплом между поставщиками тепла и потребителями. Он должен брать тепла столько, сколько нужно для здания в зависимости от состояния окружающей среды.

Использование автоматизированной системы регулирования отпуска тепла позволяет уменьшить потребление энергии на 15 – 20 %. Однако такая экономия энергии достижима после предварительного утепления здания.

7.5. Дома с ограниченным энергопотреблением и энергонезависимые дома

В настоящее время во многих странах проводятся исследования и построены опытные дома с минимальным потреблением тепла на отопление («пассивные» дома) и независимым энергоснабжением («солнечные» дома).

Концепция *пассивного дома* предполагает незначительное потребление энергии за счет высокой теплоизоляции здания, исключения воздухообмена через неплотности оконных и дверных проемов и использования принудительной вентиляции, которая включается автоматически лишь при превышении содержания CO_2 и других вредных веществ воздуха помеще-

ния. Система вентиляции содержит рекуператор для утилизации отходящего тепла. Кроме того, после забора свежий атмосферный воздух в зимнее время предварительно подогревается, проходя через трубы, уложенные в грунт. Соблюдение этих правил позволяет отапливать дом за счет поступления тепла от работающих бытовых приборов и людей, находящихся в помещении. В таких домах также максимально используется тепловой лучистый поток Солнца за счет применения стекол с селективным покрытием и других конструктивных элементов, аккумулирующих тепло. В этих домах потребление энергии на отопление составляет для условий Германии 15 кВт ч/(м²·год), в отличие от домов, построенных по нормам 1980 – 1995 гг., где потребляется 70 – 110 кВт ч/(м²·год).

Минимальный уровень затрат энергии, необходимой для поддержания комфортных условий проживания, достигается за счет того, что ограждающие конструкции «пассивного» дома почти не пропускают тепло. Для их устройства выбираются максимально энергоэффективные материалы, например, пенополистирол. Тепловой комфорт поддерживается за счет «пассивных» источников – работы электроприборов, тепла, выделяемого при приготовлении пищи и т.д.

Как подсчитали специалисты, в год человек выделяет 300 кВт тепла, что также способствует поддержанию нормальной температуры в доме при изоляции, превышающей обычную в 5 раз. В некоторых случаях предусматривается отдельная «зимняя» система отопления.

В Швеции «пассивные» дома уже являются общепризнанным стандартом. В Германии они постепенно приближаются к этому статусу.

Дома с нулевыми затратами на отопление переживают сейчас настоящий бум в Западной Европе. Их эксплуатация обходится гораздо дешевле по сравнению с любыми другими вариантами жилища (для обогрева 1 м² площади «пассивного» дома требуется 4 кг условного топлива в год, в то время как обычный дом, выполненный в соответствии с западноевропейскими теплоизоляционными стандартами, потребляет на 1 м² 30 кг условного топлива. Об отечественных зданиях и сооружениях в этом контексте и говорить не приходится. В условиях, когда энергоносители постоянно дорожают, идея нулевых затрат на отопление становится все более привлекательной.

В странах, располагающих значительными потоками солнечной энергии, строятся *дома специальной архитектуры*. Есть проекты домов, где за счет солнечной энергии и активного использования аккумулирующих систем удовлетворяются все потребности в тепле и электричестве. В большинстве случаев такие дома строятся, чтобы осуществлялось макси-

мальное покрытие тепловой нагрузки на теплоснабжение и горячее водоснабжение, которое составляет от 35 до 85 %. Системы теплоснабжения в таких домах комбинированные, включающие резервный подогрев воды другими источниками энергии, в т.ч. и тепловыми насосами.

Существует также понятие «*экодом*». Имеется в виду жилище, в котором практически не используются невозобновляемые источники энергии и эксплуатация которого не наносит вреда природе и здоровью человека. В США, Швеции, Японии, Германии построены достаточно комфортабельные экодома с низким, практически нулевым энергопотреблением, без канализационных сетей. Иногда они стоят очень дорого. Однако есть варианты с использованием солнечного отопления и аккумулирования тепла не дороже традиционных домов.

В Беларуси первые экодома из соломенных блоков были построены в 1996 г. В 1999 г. после официального тестирования Минстройархитектуры Республики Беларусь рекомендовал проекты этих экодомов к повторному применению. Их возведение продолжается в возрастающих объемах. Население сегодня обеспокоено экологическим качеством своего жилища (проблемами влияния на здоровье полистирола, ПВХ, фенолформальдегида и т.д.) и затратами на отопление. Практикой доказано, что на отопление 1 м² соломенного экодома тратится в 3 раза меньше энергии.

На стыке Логойского и Минского районов в Беларучах запланировано возвести своеобразный микрорайон из одноэтажных блокированных соломенных домов. Неподалеку от него задумано выполнить рекультивацию и благоустроить территорию полигона твердых бытовых отходов, на берегу озера с проточной родниковой водой построить экотуристскую усадьбу с водяной мельницей. Эта мельница станет и мини-ГЭС, энергетические мощности которой дополнят солнечные коллекторы и фотоэлектрические батареи экодомов.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные направления энергосбережения в строительстве, способствующие уменьшению потребления теплоты в зданиях.
2. Как рассчитать потери теплоты через ограждения зданий?
3. Что такое инфильтрация воздуха?
4. Что дает утепление зданий? Каким образом оно осуществляется?
5. Каким образом можно снизить потери теплоты через окна?
6. В чем заключается модернизация систем отопления зданий, направленная на уменьшение теплоснабжения?
7. Что такое пассивный дом, экодом?

Тема 8

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Предметом изучения *экологии* является охрана окружающей среды. Данное направление связано с энергетикой, т.к. энергетические объекты могут отрицательно воздействовать на окружающую среду, загрязняя ее.

Воздействие энергетики можно рассматривать в широком плане, включающем все звенья технологической цепочки: добыча топлива, его транспортировка, эксплуатация энергоисточника, передача энергии, обращение с отходами.

В 1991 г. на Международном симпозиуме в Хельсинки, организованном 11-ю международными организациями (Международным энергетическим агентством, Всемирной организацией здравоохранения и др.), была предпринята попытка анализа воздействия различных источников энергии на окружающую среду и здоровье людей.

Было выявлено, что наиболее критическим в плане влияния на окружающую среду является процесс преобразования энергии. Исключение составляют возобновляемые источники (гидро-, ветро- и гелиосистемы), где наибольшее воздействие оказывается во время строительства объектов, а также ядерная энергетика, где наиболее вредным является процесс добычи и изготовления ядерного топлива.

Наиболее существенными элементами воздействия энергетических установок на окружающую среду являются следующие:

- выбросы загрязняющих веществ;
- сброс низкопотенциального тепла;
- отчуждение и затопление земель, изменение ландшафта;
- радиоактивное загрязнение.

Объекты энергетики, где в качестве первичной энергии используется углеводородное топливо, являются источниками *вредных выбросов* в окружающую среду. В процессе горения топлива, наряду с выделением тепловой энергии, с отходящими газами выбрасывается ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на биосферу. Их характеристика дана в табл. 8.1.

Твердые частицы улавливаются такими устройствами, как мокрые скрубберы, электрофилтры и т.д. Эти способы достаточно дороги. Что касается окислов серы и азота, то на сегодня пока не создано эффективных и дешевых очистителей. Для снижения концентрации серы и азота в местах расположения электростанций до предельных значений строятся высокие дымовые трубы (200 – 300 м) для рассеивания вредных веществ на значительной высоте, которые являются очень дорогими сооружениями. При

авариях на ТЭС в реки, озера могут попадать мазут, радиоактивные выбросы, угольная пыль и т.д.

Таблица 8.1

Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами

Наименование	Характеристика
Диоксид серы SO_2	Оказывает влияние на окисление, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей). Диоксид серы вызывает «кислотные дожди»
Оксид азота NO_x	Оказывает вредное воздействие на здоровье человека и способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что также отрицательно воздействует на здоровье человека. Оксид азот вызывает «вымирание лесов», «кислотные дожди»
Моноксид углерода CO	Выделяется в результате неполного сгорания топлива. Взаимодействует с другими веществами и оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ)
Углекислый газ CO_2	Образование – необходимое условие процесса горения (производства энергии). Однако экологические законы ограничивают уровень выбросов (Киотский протокол 1997 г.). Способствует созданию парникового эффекта
Твердые частицы	Включают сажу и другие несгоревшие материалы. Переносят тяжелые металлы и углеводороды. Могут являться источником выбросов в атмосферу радионуклидов при сжигании древесины из Чернобыльской зоны

Накопление в атмосфере углекислого газа, водяного пара, метана и других углеводородов – одна из основных причин парникового эффекта. Слой газов задерживает низкотемпературное длинноволновое излучение Земли, но не препятствует прохождению более коротковолнового излучения Солнца. В результате нарушения этого баланса средняя температура приземного слоя атмосферы постепенно повышается, что приведет к перераспределению осадков, увеличению числа засух, затоплению значительных территорий и глобальным изменениям климата, которые повлекут разрушения хозяйств. Будет нанесен непоправимый ущерб здоровью людей.

Озоновый слой участвует в обеспечении безопасного уровня ультрафиолетовой радиации и поддерживает устойчивый климат на Земле. Неконтролируемые выбросы в атмосферу хлорсодержащих газов и окислов азота истощают и разрушают озоновый слой, что ведет к увеличению поступающего на Землю биологически вредного солнечного ультрафиолетового излучения.

Наиболее эффективным способом снижения вредных выбросов в атмосферу является уменьшение использования топлива, которое может

быть достигнуто за счет экономии энергии. Таким образом, энергосбережение способствует улучшению экологии окружающей среды. Этот фактор важен для Беларуси, где основным источником энергии являются топливоиспользующие установки.

Рассмотрим пути снижения потребления топлива.

Утилизация тепловых энергетических отходов непосредственно связана с экологическими мероприятиями, т.к. за счет этого достигается снижение вредных выбросов, пропорциональное сэкономленному топливу.

Самым важным направлением в снижении выбросов углекислого газа является комбинированное производство электрической энергии и тепла на ТЭЦ. При этом снижение выбросов CO_2 в среднем составляет 500 кг/МВт·ч при производстве 1 МВт ч электроэнергии по комбинированному циклу в сравнении с отдельным производством электрической и тепловой энергии на ТЭС и в котельных. Кроме диоксида углерода, уменьшается количество выбросов SO_2 и NO_x .

Уменьшение выбросов NO_x может быть также достигнуто путем подмешивания части отходящих дымовых газов к воздуху, подаваемому на горение. Для этого следует организовать рециркуляцию дымовых газов.

Внутреннее использование тепловых энергетических отходов в котельных установках и промышленных печах для подогрева питательной воды и предварительного подогрева первичного воздуха до 200 – 400 °С дает реальную экономию топлива. Так, при подогреве воздуха экономия топлива в среднем может достигать 25 %.

Поддержание оптимального состава топливовоздушной смеси позволяет достичь максимально возможной температуры горения, что снижает потребление топлива.

Автомобильный транспорт – один из главных источников загрязнения атмосферы углекислым газом. Автомобильными двигателями выделяется в воздух городов более 95 % оксида углерода, около 65 % углеводородов и 30 % оксидов азота. В крупных городах доля загрязнения воздуха автотранспортом достигает 70 – 80 % от общего уровня загрязнения, что сильно сокращает среднюю продолжительность жизни населения. Еще большую опасность для здоровья представляет так называемый фотохимический туман, возникающий в результате сложных фотохимических превращений смеси оксида углерода, углеводородов и оксидов азота в вещества, значительно более токсичные, чем исходные атмосферные загрязнения. Этот туман с влажностью около 70 % получил название смога. Уменьшить загрязнение от транспортных средств позволяет разработка

технологий производства чистого горючего и улучшенных двигателей с минимальным потреблением топлива.

Снижение потерь тепла через ограждения агрегатов и устройств, которые используются при его производстве, транспортировке и потреблении, также уменьшат расход топлива.

Уменьшение потребления энергии может быть достигнуто и за счет совершенствования технологических процессов, использования современного основного и вспомогательного оборудования.

Сброс низкопотенциального тепла характерен для конденсационных тепловых и атомных электростанций. Более половины тепловой энергии, вырабатываемой в реакторах и котлах, уходит в окружающую среду через системы охлаждения (градирни, пруды-охладители). Тепловые выбросы крупных электростанций нарушают экологическое равновесие в окрестностях этих сооружений: образуется туман, леденеют дороги. Сброс тепла в водные системы приводит к повышению температуры в водоеме. Одним из последствий является подтопление – подъем грунтовых вод вследствие аккумуляции тепла землей на площадке электростанции.

Отчуждение и затопление земель, изменение ландшафта. Развитие гидроэнергетики требует создания водохранилищ, что сопряжено с отчуждением земель, в т.ч. ценных для производства сельхозпродукции и развития животноводства, и их затоплением. В результате этого меняется инфраструктура в районе ГЭС, возрастает поверхность зеркала воды, изменяется ее температура по течению ниже плотины. Летом вода более холодная, а зимой теплая. Это воздействует на микроклимат, т.к. повышается влажность. Кроме того, плотины препятствуют продвижению рыб в верховья рек во время нереста. Чтобы ликвидировать ущерб, требуется строить специальные водоводы. Плотины малых ГЭС Беларуси сооружаются на равнинных местностях, при этом значительные площади земли занимают мелководные водохранилища. Вода в них интенсивно прогревается солнцем, создавая условия для роста сине-зеленых водорослей, которые гниют, заражая воду и атмосферу.

Ветроэнергетические установки требуют отчуждения земель, изменяют окружающий ландшафт. Они создают шум и вибрации, являются источником электромагнитного излучения. Шум вызывает раздражение, мешает работе, может приводить к функциональным изменениям в организме. Электромагнитное излучение создает радио- и телепомехи. Чтобы избежать этих воздействий, требуется создание санитарной зоны от нескольких сот метров до 2 км.

Наивысшая выносливость к шуму у человека составляет 130 дБ. Исследования показывают, что животные уживаются с ВЭУ, а удачно вы-

бранное для их размещения место создает минимальную опасность для птиц. Соблюдение требований по шуму и благоприятное размещение ВЭУ сводит ущерб, наносимый окружающей среде, к минимуму.

Отчуждение земель, м ² /МВт:	
Электростанция на ископаемом топливе	100 – 400
ГЭС	14 000 – 20 000
Гелиоустановки	25 000 – 60 000
Ветроэнергетические установки	60 000 – 75 000

Радиоактивное загрязнение характерно и для угольных, и для АЭС. В большинстве сортов угля присутствуют радиоактивные долгоживущие элементы (радий, торий, уран, полоний и др.), которые концентрируются в зольных отвалах, а также рассеиваются с дымом вместе с другими загрязняющими элементами на расстояние до 20 км.

Сооружение АЭС сегодня связано с нерешенными проблемами безопасности, с вероятным риском катастроф, чреватых глобальными последствиями для огромных территорий, с проблемами захоронения радиоактивных отходов и консервации станции после окончания расчетного срока службы.

Ситуация в Беларуси

Республика Беларусь является экологически благоприятным районом для проживания людей. Плотность населения – 50 чел/км². В Европе только Исландия, Финляндия, Швеция, Эстония и Латвия имеют меньшую плотность.

40 % территории Беларуси – леса, 40 % – сельскохозяйственные угодья (луга и пашни), 10 000 озер, площадь которых занимает 1,5 % всей территории. Кроме калийной соли, в Беларуси практически нет больших месторождений, разработка которых может принести вред окружающей среде.

После окончания второй мировой войны начался процесс интенсивной индустриализации республики. Так, в 1956 г. выпуск продукции машиностроения по сравнению с 1940 г. возрос в 25 раз, получили развитие электроника, лесоперерабатывающая и пищевая промышленности. Основным видом топлива является торф, удельный вес которого в середине 50-х годов в энергобалансе составлял 80 %. В 60-е годы и после усиленное развитие в Беларуси получили энергоемкие отрасли: химическая промышленность, нефтепереработка, производство минеральных удобрений и др. Все это увеличило нагрузку на окружающую среду.

Динамика загрязнения атмосферного воздуха за последние 10 лет следующая. Основным производителем загрязняющих веществ являются стационарные источники (65 %), но большая часть этих веществ улавлива-

ется и обезвреживается (86 % в 1997 г.). Т.е. на долю стационарных источников приходится 20 % выбросов.

Основными компонентами выбросов энергетических установок являются окислы азота и серы, а также взвешенные твердые частицы и окись углерода. Учитывая, что 70 % населения Беларуси проживает в городах, где сосредоточены энергетические предприятия, последствия этих выбросов сказываются именно в городах.

Наиболее благополучное состояние атмосферного воздуха в Беларуси имеет место по содержанию оксида серы. Это связано с тем, что в последние годы в энергетике республики существенно увеличилась доля природного газа и уменьшилась доля мазута и каменного угля, в которых содержится сера. В то же время максимальные концентрации пыли, окислов азота и углерода во многих городах превышают установленный уровень ПДК.

В настоящее время основными загрязнителями атмосферы являются передвижные источники (транспорт). При использовании дизтоплива в выбросах снижается доля окиси углерода, но повышается доля окиси азота и особенно серы и сажи. Радикальным путем улучшения экологической обстановки является перевод транспорта на сжиженный или сжатый газ, а в перспективе – использование водорода в качестве топлива.

Выводы

Потребление ископаемых видов топлива в мире возрастает. В XXI в. в технически развитых странах потребление энергии возрастет в 6 – 7 раз, каждый человек будет потреблять 15 – 20 т у.т. в год. Поэтому необходимо решать проблему устранения экологических последствий энергоиспользования.

Основные ***направления*** решения этой проблемы следующие.

1. *Снижение доли энергоемких технологий* во всех отраслях экономики, внедрение энергосберегающих технологий и оборудования.

2. *Безотходное и малоотходное производство, утилизация вторичных энергетических ресурсов.* Безотходное производство предполагает такую организацию, при которой цикл «первичные сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные сырьевые ресурсы» построен с рациональным использованием всех компонентов сырья, всех видов энергии и без нарушения экологического равновесия. Безотходное производство предполагает кооперирование предприятий с большим количеством отходов (например, ТЭС) с предприятиями – потребителями этих отходов (например, предприятиями стройиндустрии). Идея безотходного и малоотходного производства означает переход от технологии очищения и разбавления отходов к принципиально новым технологиям оборотного использования (рецирку-

ляции) природных ресурсов, что служит стабилизации и улучшению качества окружающей среды. Она предусматривает вовлечение в хозяйственный оборот вторичных ресурсов и попутных продуктов. Причем использование ВЭР обеспечивает тройной экологический эффект:

- сохраняются органические энергоресурсы Земли для следующего поколения;
- не нужно строить новые энергетические объекты, которые будут оказывать загрязняющее воздействие;
- очищается биосфера за счет сокращения или отсутствия антропогенного воздействия на нее.

3. *Широкое использование возобновляемых источников энергии*, спектр и значимость которых для каждой страны и региона определяется местными условиями.

4. Изменение топливного баланса – *максимальное применение местных видов топлива*. Для нашей республики речь может идти о древесине, прежде всего отходах деревообрабатывающей промышленности, лесозаготовок, санитарных рубок леса, а также о городских отходах. Кроме замещения угля, нефти и газа и устранения вредного влияния продуктов их сжигания на биосферу, применение древесных и городских отходов в качестве топлива решает проблему их утилизации и, следовательно, ликвидации источников загрязнения лесов, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха, почв и растений.

5. *Поиск новых, альтернативных видов топлива*, новых принципов получения, передачи, преобразования энергии, при которых полезный эффект достигался бы при минимальном загрязнении биосферы.

6. *Международное нормативно-правовое регулирование пользования природными ресурсами, в т.ч. энергетическими, и мониторинг энергетического загрязнения биосферы*.

Взаимосвязь экологии и энергосбережения выражается простой формулой: экономишь энергию – уменьшается отрицательное воздействие на окружающую среду.

Контрольные вопросы

1. Источником каких вредных веществ, поступающих в атмосферу, являются энергетические объекты?
2. В чем проявляется воздействие вредных выбросов на окружающую среду?
3. Что такое парниковый эффект?
4. Оказывают ли возобновляемые источники энергии отрицательное воздействие на окружающую среду?
5. Назовите основные направления решения проблемы устранения экологических последствий энергоиспользования.

Тема 9

УЧЕТ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

9.1. Учет потребления энергоресурсов

Для организации эффективного использования различных ресурсов, включая энергетические, необходимо наладить контроль и учет расходования всех видов энергоресурсов, внедрить автоматизированное регулирование в системах энергопотребления.

Анализ эффективности использования топливно-энергетических ресурсов может быть проведен лишь на основе количественных данных их потребления.

В настоящее время существуют три *формы* учета энергии:

- 1) с помощью измерительных приборов;
- 2) расчетным способом;
- 3) опытно-расчетным способом.

Всякая форма учета предполагает:

- регистрацию первичных показателей количества и качества всех видов энергии, как вырабатываемой и отпускаемой на сторону, так и получаемой со стороны и расходуемой на предприятии;
- оперативный учет расхода энергии с помощью приборов учета в соответствии с утвержденными технически обоснованными нормами ее расхода;
- внесение на основании показаний измерительных приборов поправок на параметры энергоносителей, полученные расчетным путем;
- определение расхода энергии расчетным способом по тем цехам и производственным участкам, где по каким-либо причинам отсутствуют приборы учета.

Регистрация первичных показателей энергоносителей и их оперативный учет, а также первичный учет нагрузок производится по показаниям *измерительных приборов*. Эти показатели фиксируются в первичной документации учета энергии.

К первичной документации учета энергии относятся: суточные ведомости эксплуатации агрегатов, вахтенные журналы, графики нагрузок и др. Первичная документация учета должна содержать информацию, на основании которой составляется энергетический баланс и технический отчет по эксплуатации. Все показатели первичной документации фиксируются в суточных ведомостях не реже чем через 0,5 – 1 ч.

Кроме первичных документов учета энергии на промышленном предприятии должны вестись вторичные документы, которые отражают

итоговые и средние показатели работы оборудования и персонала за смену и сутки. Вторичная документация – это суточные рапорты по эксплуатации установок и энергохозяйства. На основании данных вторичной документации составляются месячные энергобалансы, квартальные технические отчеты по эксплуатации, подводятся итоговые показатели и проводится их анализ.

Наиболее точным и прогрессивным является учет с помощью соответствующих контрольно-измерительных приборов. Все другие способы являются вспомогательными и применяются в основном для распределения расхода энергии между потребителями, имеющими общий учет.

Расчетный способ учета энергии не дает точных сведений о расходе энергетических ресурсов и применяется в тех случаях, когда установка приборов не требуется.

Опытно-расчетный способ учета рекомендуется применять, когда установка приборов учета на данном объекте экономически не оправдана, а расчетный способ не обеспечивает достаточной точности учитываемых энергоносителей. Этот способ учета основан на сочетании разовых замеров энергетических показателей контрольно-измерительными приборами и дальнейшем определении их расчетным путем.

Методы измерения количества топлива зависят от его агрегатного состояния. Измеряются масса твердого топлива, объем, массовый или объемный расход жидкого и газообразного топлива. Дополнительно может потребоваться измерение температуры и давления. Кроме того, для оценки качества топлива необходимо знать его влажность.

Масса топлива определяется с помощью разнообразных конструкций весов. При загрузке топлива в топочное устройство могут использоваться дозирующие питатели. При хранении жидкого топлива с помощью уровнемеров или манометров измеряется его уровень в емкостях.

Для измерения **давления** используются индикаторные манометры. Имеются приборы, в которых давление преобразуется в электрический сигнал. Для преобразования широко применяются тензометры, где при изменении давления меняется длина и диаметр проволоки и, как следствие, электрическое сопротивление, которое характеризует давление. Измерение давления проводится не только для определения свойств жидких или газообразных энергоносителей, но и затрат энергии на их перемещение по трубопроводам.

Для измерения **температуры** используются стеклянно-жидкостные термометры (рис. 9.1, а), принцип действия которых основан на том, что рабочая жидкость с изменением температуры меняет свой объем. С ростом

температуры он увеличивается, а с падением – уменьшается. Температурный диапазон этих приборов составляет от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В современных измерительных системах измерение температуры производится с помощью термопреобразователей. Термопреобразователь (рис. 9.1, б) представляет собой два проводника из различных металлов, сваренных концами. Термоэлектрический ток в электрической цепи из разнородных металлов течет от провода *A* к проводу *B*, если точка с температурой T_x является более холодной точкой соединения. Чувствительные положительные элементы могут изготавливаться из хромеля, меди, железа, а отрицательные – платины, алюмеля. Для надежной работы термопреобразователи помещают в защитные чехлы.

Широкое применение для измерения температуры находят термометры сопротивления (рис. 9.1, в). Они изготавливаются из металлов (медь, платина, никель), которые при изменении температуры меняют свое электрическое сопротивление. Термометры сопротивления применяют для измерения локальных и средних температур, а также для измерения температуры поверхности.

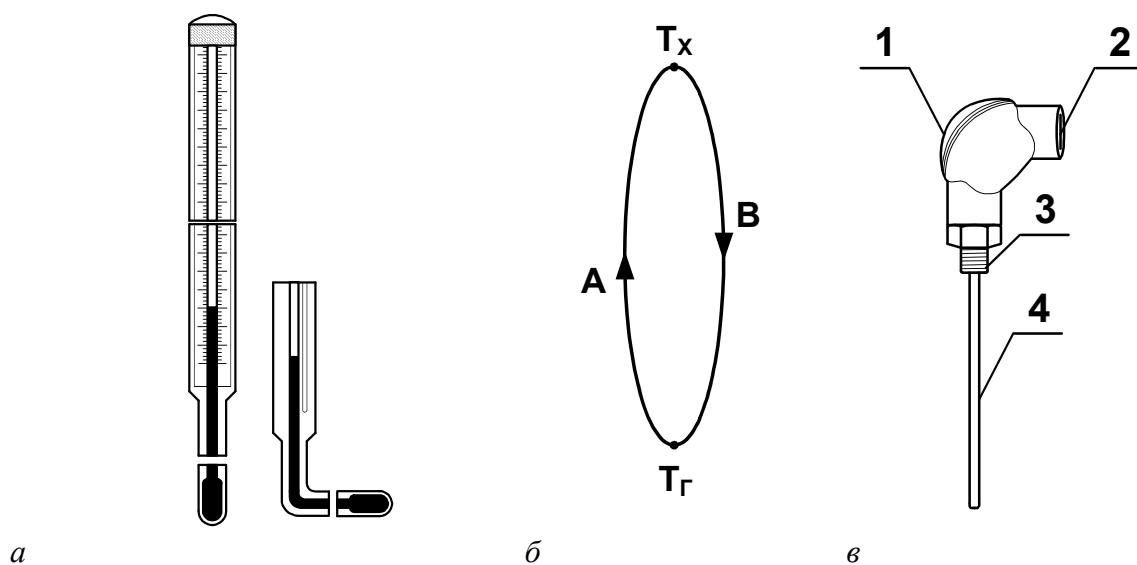


Рис. 9.1. Стекло-жидкостные термометры (а), схема термопреобразователя (б) и термометр сопротивления (в):

1 – герметичная крышка; 2 – резьбовое отверстие для вывода проводов; 3 – резьба для установки термометра; 4 – кожух термометра

Большое количество тепла может теряться через ограждающие поверхности котлов, печей, теплопроводов, зданий и других теплоиспользующих устройств. Для измерения температур поверхностей удобными в

использовании являются инфракрасные пирометры и тепловизоры. В этих приборах лучистый поток от измеряемого объекта проходит через оптическую систему и «фокусируется» на термоэлементе, где происходит преобразование первичного сигнала в электрический. С помощью инфракрасных пирометров измеряют локальные или усредненные по ограниченной площади температуры. Диапазон измерения температур может составлять от $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Более высокие температуры можно измерить с помощью оптических пирометров. В настоящее время в качестве регистрирующего устройства используется жидкокристаллический дисплей, на котором отображается значение измеренной температуры.

Пирометры незаменимы, если: доступ к объекту затруднен; объект может быть поврежден при соприкосновении с датчиком; необходимо измерить среднюю температуру большой поверхности.

Тепловизоры позволяют регистрировать и наблюдать картину локального распределения температуры сразу по всей поверхности объекта большой протяженности.

Для учета и контроля жидких или газообразных энергоносителей, холодной и горячей воды необходимо измерять их расход. Особенно важно наладить контроль потребляемой теплоты, которая, в отличие от электроэнергии, стала учитываться сравнительно недавно. В настоящее время существует несколько принципов учета теплоты.

Первый метод определения *расхода тепла* основан на уравнении теплового баланса:

$$Q = G \cdot c_p \cdot (t_{\Gamma} - t_X),$$

где Q – количество потребляемой теплоты, Вт;

$G = V \cdot \rho$ – массовый расход теплоносителя, кг/с;

c_p – теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг $^{\circ}\text{C}$);

t_{Γ}, t_X – температуры теплоносителя соответственно на входе и выходе потребителя, $^{\circ}\text{C}$;

V – объемный расход теплоносителя, $\text{м}^3/\text{с}$;

ρ – плотность теплоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В этом методе измеряются расход теплоносителя и температуры.

Второй метод учета теплоты применяется при индивидуальном расчете за тепло в системах отопления. Он основан на регистрации количества испарившейся жидкости за отопительный сезон, которое связано с использованной теплотой. Кроме того, для измерения используются также электронные

регистраторы распределения теплоты на отопление. В этом случае измеряется температура отопительного прибора. Относительно реперной температуры 20 °С автоматически рассчитывается количество потребляемой теплоты. При установке двух электронных приборов дополнительно регистрируется температура в помещении, и точность измерений возрастает.

В Беларуси в соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 7 июля 1994 г. «О введении приборного учета расхода газа, воды и тепловой энергии в домах жилищного фонда» налаживается индивидуальный учет *расхода горячей и холодной воды*. Для этих целей используются тахометрические счетчики (объемные расходомеры), которые работают по принципу турбины (рис. 9.2).

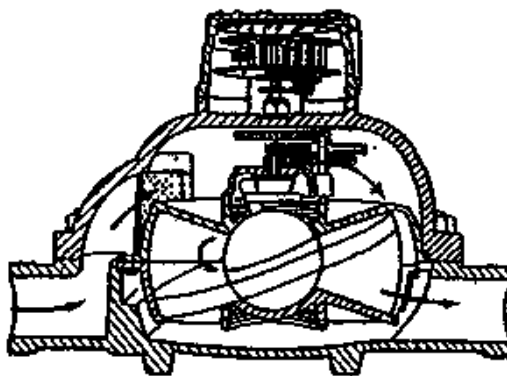


Рис. 9.2. Тахометрический расходомер (счетчик)

Такие расходомеры надежны, просты в установке и обслуживании. Их недостатком является чувствительность к загрязнению потока механическими примесями, поэтому требуется дополнительная установка фильтра. Малые скорости потока и наличие фильтра приводят к дополнительным потерям давления.

Широкое распространение получили также электромагнитные расходомеры (рис. 9.3).

Принцип их работы основан на том, что при наложении магнитного поля напряженностью B на поток электропроводной жидкости, движущейся в канале с диаметром D и со скоростью w , разность потенциалов U на секции с электродами определяется следующей зависимостью:

$$U = B \cdot w \cdot d,$$

где d – расстояние между электродами.

Электрический сигнал, получаемый от расходомера, с помощью процессора преобразуется в значение расхода теплоносителя. Рабочим веществ-

вом могут быть вода и другие жидкости. Эти расходомеры по сравнению с турбинными имеют незначительные потери давления, так как не загромождают сечение канала. Они малочувствительны к загрязнению жидкостей и присутствию пара в воде. Диапазон расхода жидкости начинается с нуля.

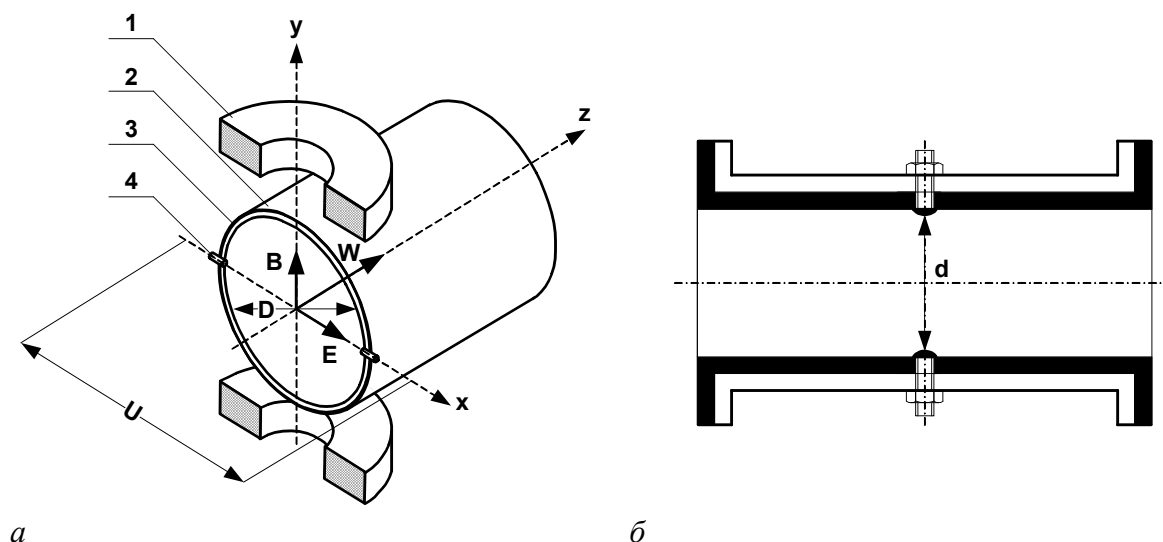


Рис. 9.3. Электромагнитный расходомер:

1 – магнитная катушка; 2 – измерительная труба; 3 – секция с электродами; 4 – электрод;

a – электрическая схема; *б* – секция с электродами

Широко применяются ультразвуковые расходомеры. Они имеют незначительные потери давления и малочувствительны к загрязнениям. Принцип их работы (рис. 9.4) заключается в том, что ультразвуковой сигнал проходит с различной скоростью в направлении потока и против течения.

Средняя скорость течения потока вычисляется по формуле

$$w = k \cdot \frac{\tau_{AB} - \tau_{BA}}{\tau_{AB} \cdot \tau_{BA}},$$

где k – константа;

τ – время;

τ_{AB} – время прохождения сигнала в направлении течения потока;

τ_{BA} – время прохождения сигнала против потока.

Объемный расход рассчитывается по формуле

$$V = w \cdot F,$$

где F – площадь сечения канала.

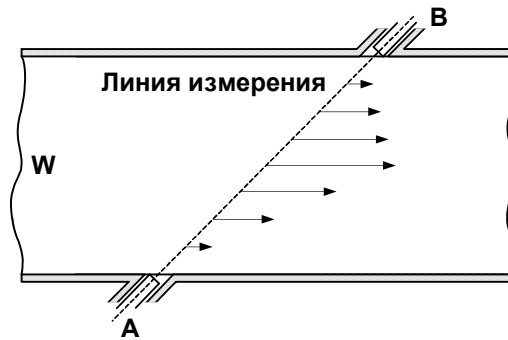


Рис. 9.4. Принцип действия ультразвукового расходомера

Измерение *расхода пара* имеет свои особенности. Применяемые сегодня диафрагмы (метод разностного давления) удовлетворительны только при стабильном потреблении пара. Для переменных режимов потребления используются специальные расходомеры, например, вихревой, когда в поток помещается вихреобразующий объект. С увеличением расхода пара скорость образования и распространения вихрей увеличивается прямо пропорционально его расходу. Датчик заключается в полость вихреобразующего тела, через которую проходят вихри. Изменение положения датчика обеспечивает поступление сигнала на регистрирующее устройство.

Для организации оптимального процесса сжигания топлива измеряется *состав дымовых газов*. Измерения проводятся с помощью газоанализаторов. В настоящее время все большей популярностью пользуются электронные газоанализаторы, позволяющие получать оперативную информацию, необходимую для регулирования и настройки топливосжигающих установок. Простейшие приборы определяют лишь концентрации O_2 и CO_2 , а универсальные дополнительно измеряют концентрации NO , NO_2 , SO_2 , температуру, скорость, давление и выдают значение коэффициента избытка воздуха.

Традиционно наиболее налажен *учет электрической энергии*. Этот учет отработан и является обязательным как на предприятиях и в учреждениях, так и в бытовом секторе.

До недавнего времени наиболее распространенными были индукционные счетчики электрической энергии. Однако они обладают рядом недостатков, основными из которых являются невысокий класс точности (второй) и наличие механических рабочих элементов конструкции. Механические элементы в процессе работы изнашиваются, и со временем точность измерений ухудшается. Кроме того, эти счетчики позволяют потреблять неучтенную энергию.

В последнее время индукционные заменяются электронными счетчиками электрической энергии с более высокой точностью измерений (класс точности – первый) и без механических рабочих элементов. В большинстве случаев в таких счетчиках используются жидкокристаллические индикаторы. Кроме того, электронные счетчики не позволяют использовать неучтенную энергию. Имеются модификации многотарифных счетчиков, которые стимулируют потребление электроэнергии в ночное время, тем самым улучшая график электрической нагрузки в электросети. Современные счетчики строятся на базе микропроцессоров с цифровыми выходами и возможностью работы с компьютером.

Для анализа эффективности потребления электрической энергии, кроме счетчиков учета, используются и другие приборы. Измерение электрической нагрузки проводится как стационарными приборами (ваттметры), так и портативными («клещи»). Потребляемая активная мощность может также регистрироваться с помощью стационарных и портативных вольтметров и амперметров. Все показатели качества электроэнергии по напряжению зависят от объема потребления реактивной мощности нагрузкой, поэтому необходим ее контроль. Для этих целей используются фазометры, ВАРметры.

Проведение оценки работы электроприводов требует наличия счетчиков включения-выключения, измерителей наработки часов в нагруженном состоянии и на холостом ходу, секундомера для измерения времени выхода на рабочий режим. Оценка эффективности электрического освещения проводится на основе измерения освещенности с помощью люксметров в сочетании с определением потребляемой мощности источниками света.

Анализ эффективности работы различных двигателей требует измерения частоты вращения вала. Такие измерения проводятся с помощью тахометров.

В системах транспортировки и потребления энергоносителей могут быть течи. Потери энергоносителя снижают КПД систем передачи и потребления. Для обнаружения течей используются течеискатели, в основе работы которых лежат различные принципы действия. В трубопроводных системах эффективным обнаружителем течей является ультразвуковой течеискатель. Он позволяет с минимальными затратами времени точно локализовать места утечек энергоносителя.

Таким образом, анализ эффективности использования различных видов энергии требует наличия разнообразных приборов учета и измерительной аппаратуры. Рассмотренное приборное обеспечение позволяет заложить основы учета и контроля наиболее используемых видов энергии – тепловой и электрической.

9.2. Регулирование потребления энергии

Регулирование количества потребляемой энергии может осуществляться ручным способом и с использованием автоматики. На эффективность первого метода большое влияние оказывает человеческий фактор, связанный с субъективным восприятием окружающего мира. Поэтому его возможности ограничены более узкими рамками. Например, такие факторы, как освещенность или температура помещения, определяющие комфортные условия в зданиях, ассоциируются у людей по-разному. Автоматическое регулирование лишено этих недостатков и позволяет поддерживать комфортные условия в соответствии с установленными нормами.

Под автоматическим регулированием понимается поддержание постоянным или изменяющимся по определенному закону физического параметра, характеризующего процесс. Регулирование складывается из измерения состояния объекта и действующих на него возмущений и воздействия на регулирующий орган объекта.

Среди задач, стоящих перед системой управления, основными могут быть названы:

- стабилизация (поддержание постоянными управляемых величин с заданной точностью). Например, поддержание температуры в помещении с точностью ± 2 °С;
- программное управление (управление физическим параметром по заранее известному закону). Например, функциональная зависимость температуры теплоносителя в системе теплоснабжения от температуры наружного воздуха.

По типу воздействия на объект системы управления могут быть разделены на следующие группы:

- следящие (за некоторой измеряемой величиной);
- самонастраивающиеся (на оптимальное значение какого-либо из показателей системы);
- разомкнутые (регулирование без обратной связи);
- замкнутые (регулирование с обратной связью).

В *разомкнутых системах управления*, как правило, отсутствует компенсация влияния неконтролируемых возмущений, и они применяются для систем программного управления. Например, при односменной или двухсменной работе учреждений и предприятий после окончания рабочего дня отпуск тепла уменьшается, а перед началом – повышается до требуемых нормативов. В жилых домах, наоборот, отпуск тепла максимален в вечернее время, когда большинство людей находятся дома и требуется

поддержание комфортных условий. Кроме того, данные системы позволяют осуществлять пофасадное регулирование отпуска тепла, которое учитывает направление и интенсивность ветра, а также потоки лучистого тепла Солнца. Такая система дает возможность создавать однородные комфортные условия для обитателей всех помещений и приводит к более эффективному использованию энергии.

В *замкнутых системах* управляющее воздействие формируется в зависимости от управляемой величины. Они используются для стабилизации. На рис. 9.5 представлена функциональная схема замкнутой системы автоматического регулирования. Замкнутая цепь, элементами которой являются объект регулирования, датчик, регулятор и исполнительное устройство, является контуром регулирования. Регулятор включает устройство сравнения, задатчик (формирователь уставок) и усилитель сигнала рассогласования $e = Y - Y_0$. Состояние объекта регулирования измеряется датчиком (текущее значение – Y) и сравнивается в регуляторе с заданным значением (уставкой – Y_0). Сигнал рассогласования e , соответствующим образом усиленный, поступает на вход исполнительного устройства, которое обрабатывает это рассогласование таким образом, чтобы вернуть объект регулирования в заданное состояние.

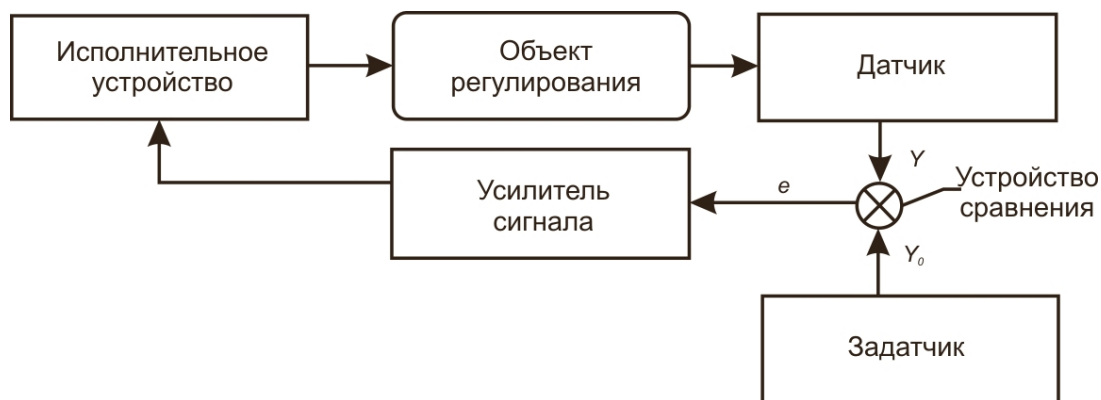


Рис. 9.5. Функциональная схема замкнутой системы регулирования

Рассмотрим типовую функциональную *схему автоматического регулирования*, применяемую в системах теплоснабжения зданий. Схема приведена на рис. 9.6.

Регулятор 2 предназначен для качественного и количественного регулирования отпуска тепла в системах отопления.

При качественном регулировании температуры теплоносителя, подаваемого в отопительные приборы 7, контроль над ней осуществляется по

датчику 4 в подающем теплопроводе. В зависимости от температуры наружного воздуха, измеряемой датчиком 1, для поддержания комфортных условий в здании температура теплоносителя изменяется. Так, при высокой температуре наружного воздуха здание обогревается слабее, и наоборот. Для более эффективного использования тепловой энергии регулятор ограничивает максимальное значение температуры «обратной» воды. Контроль над температурой осуществляется с помощью датчика 8, а регулирование проводится подмешиванием части потока «обратной» воды в «прямую» через реверсивный привод регулирующего трехходового клапана 9.

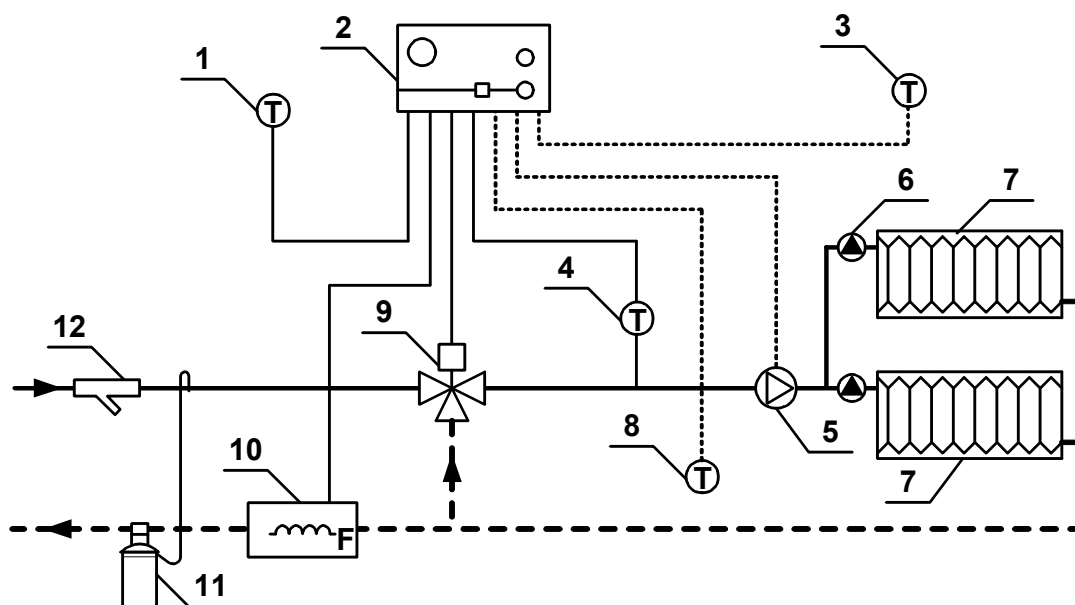


Рис. 9.6. Автоматизированная система отпуска и учета тепла в зданиях:

1 – датчик температуры наружного воздуха; 2 – регулятор; 3 – датчик температуры помещения; 4 – датчик температуры воды в прямом теплопроводе; 5 – насос; 6 – термостатирующий вентиль; 7 – отопительные приборы; 8 – датчик температуры воды в обратном теплопроводе; 9 – трехходовой регулирующий клапан с реверсивным приводом; 10 – электромагнитный расходомер; 11 – регулятор перепада давления; 12 – фильтр

При количественном регулировании осуществляется управление насосом 5. При понижении температуры наружного воздуха расход теплоносителя увеличивается, а при повышении – уменьшается. Учет тепловой энергии, потребляемой системой отопления, осуществляется на основании уравнения теплового баланса путем измерения расхода датчиком 10 и температур «прямой» и «обратной» воды датчиками 4 и 8.

Неравномерное распределение теплоносителя по стоякам и отопительным приборам вызывает различие температур в помещениях здания. С помощью регулятора перепада давления прямого действия 11 поддержива-

ется требуемая для системы теплоснабжения разность давлений в подающем и обратном теплопроводах независимо от их колебаний и изменения расхода теплоносителя в системе. При росте перепада давления клапан закрывается, а при уменьшении – открывается, что обеспечивает стабильность в системе теплоснабжения. Постоянство разности давлений – это обязательное условие для оптимального регулирования. Правильное гидравлическое уравнивание стояков может вызвать уменьшение средней температуры циркуляционной воды на 1 – 3 °С. Уменьшение средней температуры воды на 1 °С соответствует ежегодной экономии энергии, равной 5 – 8 %.

В двухтрубных системах отопления может быть реализовано индивидуальное регулирование отпуска тепла на каждом отопительном приборе без ущерба для других потребителей тепла. Регулирование может быть ручным и автоматическим. В последнем случае может быть использован термостатирующий вентиль (радиаторный терморегулятор). Установка таких терморегуляторов позволяет за отопительный сезон сэкономить приблизительно 15 % энергии. Понижение температуры в отапливаемом помещении на 1 °С уменьшает потребление энергии на 7 %.

Регулирование энергопотребления может также осуществляться в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения, освещения, сжатого воздуха, а также в технологических процессах сушки, термообработки и других случаях.

Контрольные вопросы

1. Зачем необходим контроль и учет энергоресурсов?
2. Какие методы используются для определения количества потребляемого топлива?
3. Каким образом можно измерить количество потребляемой теплоты?
4. С помощью каких приборов можно измерить температуру? Каков принцип их работы?
5. Какие приборы используются для измерения расхода теплоносителя? Каков принцип их работы?
6. С помощью каких приборов осуществляется учет электрической энергии?
7. Какие электросчетчики предпочтительней использовать?
8. Как работает замкнутая система автоматического регулирования?
9. В чем отличие разомкнутой системы регулирования от замкнутой?
10. Поясните особенности качественного и количественного методов регулирования в системе теплоснабжения.

Тема 10
УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ
И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ
НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

10.1. Энергетическое хозяйство предприятий

Энергетическое хозяйство предприятий включает два сектора: систему энергоснабжения предприятия и потребителей энергии. Укрупненная структурная схема энергоснабжения и энергопотребления предприятием приведена на рис. 10.1.

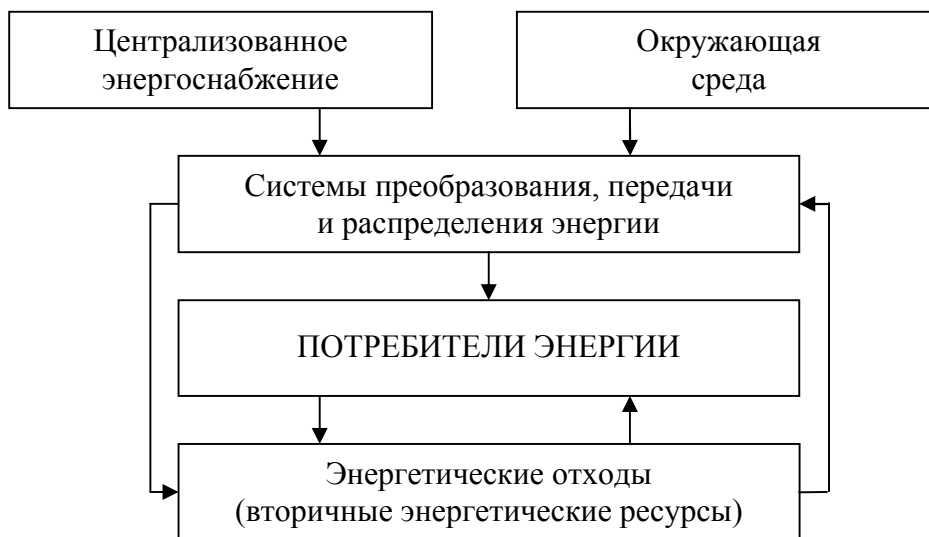


Рис.10.1. Укрупненная схема энергоснабжения и потребления энергии предприятием

Система энергоснабжения служит для надежного удовлетворения потребностей предприятия необходимыми видами энергии нужных параметров и качества.

Необходимые виды энергии и энергоносителей могут поставляться предприятию через централизованное энергоснабжение (рис. 10.2). К ним относятся электроэнергия, теплота и органическое топливо. Источником энергии может также служить непосредственно окружающая среда с потоками прямой или преобразованной энергии Солнца, а также энергия недр Земли. Кроме того, для нормального функционирования энергетического хозяйства предприятия используются вода и воздух из водных и воздушных бассейнов Земли.

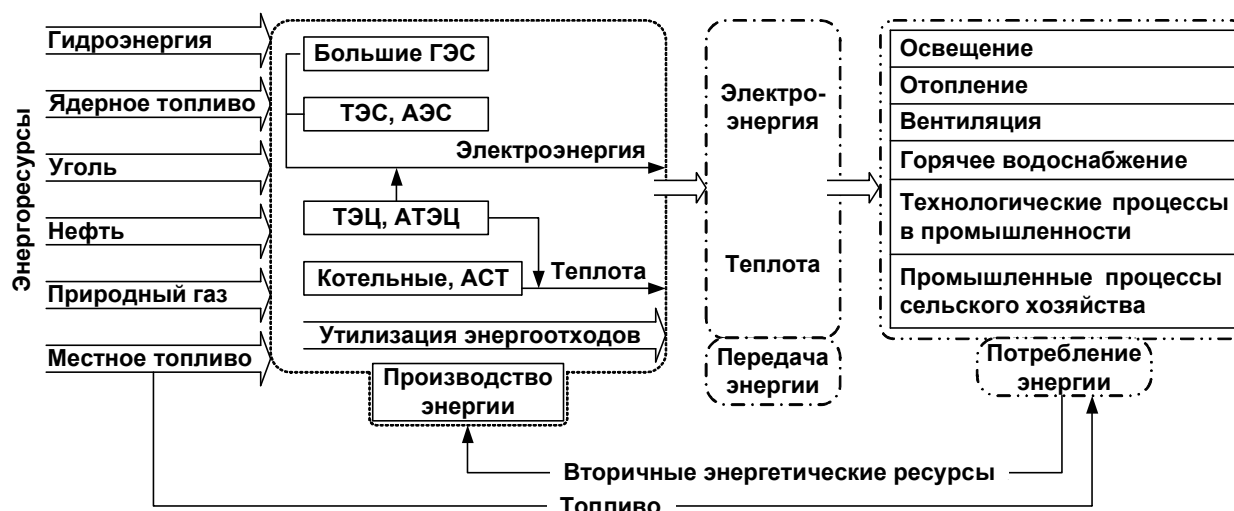


Рис. 10.2. Система централизованного энергоснабжения промышленных предприятий

На следующей ступени системы энергоснабжения энергетические потоки могут быть, при необходимости, преобразованы в другие виды энергии или могут изменить свои параметры в соответствии с условиями эксплуатации потребляющих устройств.

Преобразование энергии осуществляется на ТЭЦ, в котельных, на компрессорных станциях, в холодильных установках, на тепловых пунктах и других объектах, которые входят в энергетическое хозяйство предприятий.

В большинстве случаев размещение источников энергии и потребителей не совпадает. Поэтому энергетическое хозяйство предприятий должно включать разветвленную систему передачи и распределения энергии.

В качестве источников энергии на предприятии могут служить также энергетические отходы (ВЭР). Эти отходы могут быть непосредственно готовыми к применению или использоваться после их преобразования.

Основными потребителями энергии на предприятии являются: технологические потребители, непосредственно связанные с выпуском готовой продукции или услуг; системы освещения; системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха; горячее и холодное водоснабжение.

В целом энергетическое хозяйство предприятий представляет собой сложную разветвленную структуру, характеризующуюся взаимосвязанными энергетическими и материальными потоками различного вида и назначения.

10.2. Общие принципы организации энергетического менеджмента на предприятии

Общими функциями энергетического менеджмента являются: планирование, организация, мотивация, контроль и координация. В основе практической реализации этих функций лежит информационный банк данных о динамике энергетических и материальных потоков на предприятии. Сбор, классификация и обработка этих данных проводятся, как правило, посредством менеджмента в рамках предварительного энергетического аудита.

Анализ собранной информации позволяет сделать обоснованные выводы относительно энерготехнологической эффективности работы предприятия, а также разработать комплекс организационно-технических мероприятий (ОТМ) по ее повышению. Кроме того, сравнительный анализ удельных энергетических затрат на выпуск продукции установленного качества с показателями предприятий аналогичного профиля и отраслевой нормой расхода ТЭР на одноименную продукцию позволяет принять решение о необходимости модернизации исследуемого технологического процесса. Данные действия энергоменеджера связаны с реализацией функций планирование и организация.

Планирование – это стадия процесса управления, на которой определяются цели деятельности, необходимые для этого средства, а также разрабатываются методы, наиболее эффективные для достижения цели в конкретных условиях. Планирование – это процесс подготовки и принятия решения.

Организация – это стадия процесса управления, на которой энергоменеджер участвует в управлении предприятием при составлении бюджета по энергосбережению на следующий год, выработке производственных планов и стратегии предприятия. Кроме того, в его обязанности входит подготовка бизнес-планов для привлечения инвестиций из внешних источников с целью реализации высокозатратных энергосберегающих мероприятий.

Мотивация – внедрение в сознание персонала «психологии энергосбережения», т.е. осознанного и мотивированного применения на практике правил эффективного использования энергии. Цель – активизировать людей, работающих в организации, и побудить их эффективно использовать энергию. Для этого персонал предприятия информируется о деятельности по энергетическому менеджменту, о мерах по экономии энергии, предпринимаемых в настоящее время. Показываются выгоды организации в целом и каждого члена коллектива от экономии энергии.

На всех стадиях реализации функций энергетического менеджмента на предприятии организационные методы должны сопровождаться контрольными функциями. **Контрольные функции** основываются на учете результатов работы с количественной и качественной оценкой. Главным инструментом их реализации является наблюдение, проверка всех сторон деятельности, учет и анализ. Контроль выступает как элемент обратной связи, т.к. по его данным производятся корректировки ранее принятых решений, планов, норм и нормативов. Контроль должен быть своевременным и простым.

10.3. Энергетический аудит

Энергетический аудит – комплексное обследование энергопотребления конкретного предприятия.

Целью энергетического аудита является: получение исчерпывающей информации о ситуации с общим потоком энергии в пределах границ исследуемой системы (например, промышленного предприятия); выявление источников энергосбережения; оценка потенциала энергосбережения; разработка программы энергосберегающих мероприятий и технологий (ЭСМТ) с установлением приоритетов их внедрения.

Среди **проблем**, связанных с организацией и проведением энергетического аудита, наиболее важными являются следующие:

- 1) создание единого нормативно-правового обеспечения энергосберегающей политики на всех уровнях – от государственного до уровня конкретного предприятия;
- 2) разработка единой методики проведения энергетического аудита объектов;
- 3) подготовка специалистов по проведению энергетического аудита.

При выполнении энергетических обследований и аудитов предприятий решаются следующие **задачи**:

- 1) анализ фактического состояния и эффективности энергоиспользования, выявление причин потерь энергии, их классификация и оценка;
- 2) определение рациональных размеров энергопотребления в производственных процессах и установках;
- 3) определение оптимальных направлений, способов и размеров использования первичных и вторичных энергоресурсов;
- 4) оценка резервов сбережения энергии, т.е. энергосберегающего потенциала с помощью матриц ЭСМТ;

- 5) улучшение режимов работы технологического и энергетического оборудования;
- 6) разработка и уточнение норм расхода ТЭР на производство продукции;
- 7) организация или совершенствование систем учета и контроля расхода энергии;
- 8) решение вопросов по установлению нового оборудования и совершенствованию технологических процессов.

Поясним разницу понятий *«энергетическое обследование»* и *«энергетический аудит»*. Обе процедуры предназначены для оценки эффективности энергетических затрат, определения возможностей энергосбережения и создания плана реализации ЭСМТ. Однако, используя первый термин – «энергетическое обследование», – как правило, имеют в виду проведение обследования силами самого предприятия. Термин «энергетический аудит» применяют, если процедура проводится внешними организациями с информационно-технической помощью персонала самого предприятия. Такими внешними организациями могут быть консультационные агентства, имеющие высококвалифицированных экспертов и современные портативные контрольно-измерительные приборы.

В Республике Беларусь обязательному энергетическому аудиту каждые 5 лет подлежат предприятия, учреждения и организации, если годовое потребление ими ТЭР составляет более 1,5 тыс. т у.т. Производить аудит имеют право специализированные организации, имеющие разрешение (лицензию) Государственного комитета по энергосбережению и энергетическому надзору (Комитет по энергоэффективности Совета Министров) на их выполнение, за счет средств обследуемых предприятий и республиканского фонда «Энергосбережение».

Энергообследование может быть перманентным, т.е. иметь непрерывный текущий характер, периодическим и разовым.

Перманентное энергообследование требует высокой степени автоматизации приборного учета энергопотребления. При перманентных обследованиях осуществляется постоянное использование матриц ЭСМТ для выбора приоритетных мероприятий и одновременно корректировка матриц.

При аудитах, носящих периодический или разовый характер, производится разработка или корректировка матриц ЭСМТ, на основе которых составляются планы по энергосбережению, контролируется эффективность энергоиспользования.

10.3.1. Схема проведения энергетического аудита

Энергетический аудит включает *четыре этапа*.

Этап 1 – предварительное энергообследование. На этом этапе определяются основные энергетические характеристики объекта, выделяются наиболее энергоемкие системы энергопотребления и места наиболее вероятных потерь энергоресурсов. Данный этап выполняется экспертами энергоаудита совместно с персоналом предприятия. Информацию следует фиксировать в специально разработанных табличных формах и в описательном тексте. На всем протяжении энергоаудита происходит сбор информации в соответствии с разработанной программой. Источниками информации могут являться;

- опрос и анкетирование руководства и технического персонала;
- схемы энергоснабжения и учета расхода энергоресурсов;
- отчетная документация по коммерческому и техническому учету расхода энергоресурсов;
- счета от поставщиков энергоресурсов;
- графики нагрузки энергопотребления;
- документация по энергосберегающим мероприятиям и т.п.

Перечисленная информация собирается как минимум за 24 последних месяца и группируется, например, по следующим разделам: здания (изоляция, остекление, уплотнения); система горячего и холодного водоснабжения; система газоснабжения; система электроснабжения.

Этап 2 – детальное энергообследование. На этом этапе составляется карта потребления энергии как по всем энергоносителям, так и по технологическим процессам, установкам и цехам (зданиям). Информация о потреблении энергии должна включать данные как за текущий период, так и за прошлые годы. Динамика потребления энергии позволяет сделать объективное заключение об эффективности ее использования.

На стадии разработки карты потребления энергии составляются энергетический и материальный балансы, которые позволяют выявить для каждого объекта факторы, влияющие на ее потребление. Энергетические балансы позволяют также осуществлять контроль соответствия фактических показателей энергопотребления нормативным показателям.

Этап 3 – анализ результатов детального энергообследования. По результатам проведенных работ составляется отчет с целью принятия решения о проведении намеченных энергосберегающих мероприятий.

Технический отчет должен включать в себя следующую информацию:

- краткую характеристику предприятия и взаимосвязь основных производств предприятия;
- энергоемкость производств предприятия по видам потребляемых энергоресурсов;
- динамику удельного энергопотребления по видам энергоресурсов и по основным видам выпускаемой продукции и сравнение их с соответствующими характеристиками энергоэффективных предприятий-аналогов;
- структуру распределения и учета потребления энергоносителей с оценкой источников их поступления и потребления;
- нормативные и фактические потери энергоносителей в распределительных сетях и системах.

В общей характеристике предприятия должны быть отражены следующие вопросы:

- номенклатура продукции и фактические удельные расходы энергоресурсов на ее производство за год, предшествующий началу проведения энергетического обследования;
- источники и схема энергоснабжения;
- показатели суточных (зимнего и летнего) графиков электрической и тепловой нагрузки;
- доля энергетической составляющей в себестоимости продукции;
- организационная структура энергетической службы.

Отчет заканчивается рекомендациями по энергосбережению.

Этап 4 – внедрение разработанной программы энергосбережения. Аудитор выполняет функции консультанта, обучает, инструктирует персонал предприятия, оказывает помощь и осуществляет надзор за выполнением принятой программы.

В результате энергетического обследования предприятию могут быть рекомендованы следующие инструменты энергетического менеджмента: периодические аудиты, перманентное обследование и контрольно-измерительные системы, функционирующие в реальном времени в рамках автоматизированных систем учета, контроля и управления энергопотреблением.

Для качественного и быстрого выполнения периодических и разовых энергоаудитов на современном уровне высококвалифицированными экспертами специализированных фирм служат передвижные лаборатории (энергоавтобусы), оснащенные комплектами портативного оборудования:

- электронными анализаторами горения и дымовых газов для контроля выбросов оксидов углерода, азота и серы;

- анализаторами электропотребления;
- цифровыми контактными и инфракрасными бесконтактными термометрами;
- микроанометрами с трубками Пито и анемометрами, измеряющими скорости воздушного потока;
- электронными анализаторами качества питательной воды котлов;
- другими современными измерителями – накопителями данных.

10.3.2. Энергосберегающие мероприятия и технологии (ЭСМТ)

В процессе аудита (обследования) рекомендуется использовать матрицы (таблицы) типовых ЭСМТ, разработанные предварительно экспертами по энергосбережению. Матрицы ЭСМТ составляются для всех уровней иерархии системы энергосбережения, как для предприятий-поставщиков, так и для предприятий-потребителей энергии. ЭСМТ в матрицах классифицированы по ряду признаков, что облегчает анализ отдельных ЭСМТ, оценку их технической осуществимости реализации, экономической и социально-экологической целесообразности.

Энергосберегающие мероприятия и технологии классифицируют по следующим признакам:

- по основным группам: технические, экономические, организационные, экологические, психологические, законодательные, нормативные, смешанные;
- времени исполнения: проектирование, эксплуатация, реконструкция;
- стадиям энергообеспечения: выработка, преобразование, передача, распределение, потребление;
- величине затрат: беззатратные, малозатратные, крупнозатратные.

10.3.3. Энергетический баланс предприятия

Составление и анализ энергетических балансов – важнейший элемент энергетического менеджмента предприятия. Анализ энергобалансов дает возможность установить фактическое состояние использования энергоресурсов в отдельных элементах предприятия и на предприятии в целом. Объектом подобного анализа является система энергоснабжения промышленного предприятия.

Энергобаланс – баланс добычи, переработки, транспортировки, преобразования, распределения и потребления всех видов энергетических ресурсов и энергии на производстве. Энергобаланс является отражением за-

кона сохранения энергии в условиях конкретного производства. Энергобаланс состоит из приходной и расходной частей.

Приходная часть энергобаланса содержит количественный перечень энергии, поступающей посредством различных энергоносителей (ископаемое топливо и ядерное горючее, газ, пар, вода, воздух, электрическая энергия). **Расходная часть** энергобаланса определяет расход энергии всех видов во всевозможных ее проявлениях, потери при преобразовании энергии одного вида в другой, ее транспортировке, а также энергию накапливаемую (аккумулируемую) в специальных устройствах (например, гидроаккумулирующих установках).

Как и в любых других балансах, например, бухгалтерских, приходная и расходная часть энергобаланса должны быть равны.

Упрощенная схема энергетического баланса представлена на рис. 10.4.

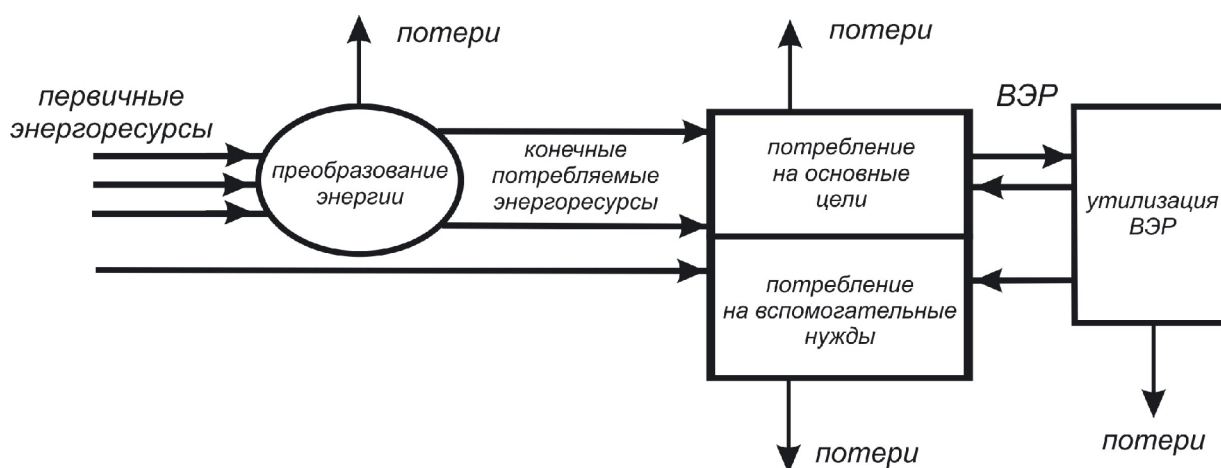


Рис. 10.4. Упрощенная схема энергетического баланса

Для всестороннего анализа использования ТЭР на предприятии составляются следующие **виды энергобалансов**:

- по видам используемых энергоносителей (топливо, тепловая энергия, электрическая энергия, механическая энергия);
- целевому назначению, т.е. с выделением расхода на технологию и вспомогательные нужды (отопление, вентиляцию, освещение и др.);
- производственно-территориальным единицам (цехам, участкам и т.д.);
- полный энергетический баланс.

Анализ приходной и расходной частей энергетического баланса позволяет установить специфику энергопотребления и эффективность использования энергоресурсов на промышленном предприятии. Полный

энергетический баланс (в тепловом эквиваленте) включает все виды энергии, претерпевающие преобразование на предприятии.

Основными видами энергии, потребляемой в промышленности, являются тепловая и электрическая энергия. Поэтому составляются частичные энергобалансы – тепловые и электрические. Рассмотрим особенности составления электробалансов.

Различают три основных *вида электробалансов*:

1) фактические, отражающие сложившиеся в цехе или на предприятии производственные условия;

2) нормализованные, учитывающие возможности рационализации и оптимизации электропотребления и снижения потерь в механизмах и электрических сетях;

3) перспективные, составляемые с учетом прогнозируемого развития производства и его качественных изменений на ближайший период (до 5 лет) или на более длительный срок.

Главная цель электробаланса – определение степени полезного использования электроэнергии и поиск путей снижения потерь.

Приходная и расходная части принимаются и учитываются по показаниям счетчиков активной энергии и расчетной мощности.

Расходная часть электробаланса активной электроэнергии делится на следующие статьи расхода:

1) прямые затраты электроэнергии на основной технологический процесс с выделением полезного расхода на выпуск продукции без учета потерь в различных звеньях энергоемкого оборудования производства (электрических печах, компрессорных и насосных установках);

2) косвенные затраты электроэнергии на основной технологический процесс вследствие его несовершенства или нарушения технологических норм;

3) затраты электроэнергии на вспомогательные нужды (вентиляцию помещений цехов, цеховой транспорт, освещение);

4) потери электроэнергии в элементах системы электроснабжения (трансформаторах, реакторах, линиях);

5) отпуск электроэнергии сторонним потребителям (столовым, клубам, магазинам).

Задачами составления электробаланса являются:

- нахождение расхода электроэнергии по статьям 2, 3, 4, 5 с тем, чтобы выделить расход на основную продукцию предприятия;

- определение действительных удельных норм расхода электроэнергии на единицу продукции предприятия;

- выявление возможности сокращения как непроизводительных расходов электроэнергии (ст. 2, 3, 4, 5), так и расходов на выпуск основной продукции путем проведения различных мероприятий, совершенствующих технологический процесс.

Составление сводного нормализованного электробаланса – завершающий этап анализа фактического баланса предприятия. Нормализованный электробаланс служит основой для оценки резервов экономии электроэнергии на предприятии.

Общие резервы экономии электроэнергии подразделяются на *текущие* ΔW_T , осуществляемые с малыми затратами в текущем периоде, и *перспективные* ΔW_{II} , реализация которых возможна в более отдаленной перспективе (3 – 5 лет и более) за счет проведения мероприятий, требующих дополнительных затрат.

Текущие резервы определяются сравнением фактического электробаланса объекта с его электробалансом, составляемым на базе технически обоснованных отдельных потерь.

Текущие резервы экономии энергии:

$$\Delta W_T = \sum_{i=1}^n (\Delta W_i^{до} - \Delta W_i^{после}),$$

где n – число мероприятий, направленных на снижение потерь;

$\Delta W_i^{до}$, $\Delta W_i^{после}$ – потери электроэнергии в каждом i -том объекте соответственно до и после проведения мероприятий.

Перспективные резервы определяются сравнением двух нормализованных электробалансов – технически ΔW_i^{TEX} и экономически обоснованного (перспективного) $\Delta W_i^{ЭК}$:

$$\Delta W_{II} = \sum_{i=1}^n (\Delta W_i^{TEX} - \Delta W_i^{ЭК}).$$

10.4. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов

10.4.1. Общие задачи

Необходимым инструментом государственной политики энергосбережения является механизм нормирования расхода топлива и энергии для технологических процессов, установок, оборудования, продукции, электробытовых приборов.

В соответствии с «Положением по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве Республики Беларусь» (01.08.97 г.) **норма расхода** топливно-энергетических ресурсов – это мера потребления этих ресурсов на единицу продукции (работы, услуги) определенного качества в планируемых условиях производства.

Такое определение нормы предполагает, что это постоянно изменяющаяся в результате совершенствования условий производства величина. В понятие «норма расхода» включено определенное требование к качеству выпускаемой продукции.

Нормы должны ориентироваться на интенсификацию производства, внедрение достижений научно-технического прогресса, учитывать внутренние резервы экономии, обеспечивать наибольший выпуск продукции при наименьших затратах энергоресурсов. Такие нормы названы прогрессивными.

Нормы должны устанавливаться применительно не к достигнутому, а к планируемому уровню организации производства с учетом внедрения новой техники и технологии.

Норма расхода ТЭР позволяет:

- планировать потребность ТЭР на производство определенного количества продукции;
- анализировать работу предприятия и его подразделений путем сопоставления норм и фактических удельных расходов ТЭР;
- определять удельную энергоемкость данного вида продукции;
- сравнивать энергоемкость одноименного продукта, производимого разными способами.

В основе составления норм расхода ТЭР лежит анализ энергетических балансов промышленных предприятий.

Разработка норм расхода топлива и энергии осуществляется субъектами хозяйствования всех форм собственности с периодичностью **один раз в три года**, а также при изменении технологии, структуры и организации производства и совершенствовании методики нормирования расхода этих ресурсов. Пересмотр норм расхода производится ежегодно в установленном порядке.

Нормирование расхода топлива и энергии осуществляется раздельно по котельно-печному топливу (углю, торфу, сланцам, дровам, мазуту, сырой нефти, природному, попутному газу), тепловой и электрической энергии, расходуемых на основные и вспомогательные нужды всех уровнях планирования и хозяйственной деятельности: предприятие,

министерство, народное хозяйство. Коммунально-бытовое потребление ТЭР не нормируется.

Для комплексной оценки эффективности использования ТЭР применяются прямые обобщенные удельные энергозатраты, включающие прямые расходы всех видов топлива и энергии в производстве единицы продукции, приведенные к принятой универсальной единице соизмерения энергетических ресурсов – тонне условного топлива.

10.4.2. Классификация норм расхода ТЭР

Нормы расхода тепловой и электрической энергии классифицируют по следующим признакам:

- масштабу применения: индивидуальные и групповые;
- составу расхода: технологические и общепроизводственные;
- времени действия (т.е. в зависимости от периода, в течение которого действуют нормы расхода): годовые и квартальные. В отдельных случаях на предприятиях могут устанавливаться также нормы и по месяцам.

Индивидуальная норма расхода ТЭР – это норма расхода на производство единицы определенного продукта, изготавливаемого определенным способом на конкретном оборудовании.

Групповая норма расхода ТЭР – это норма расхода на производство единицы одноименной продукции, изготавливаемой по различным технологическим схемам, на разнотипном оборудовании, из различного сырья.

Технологическая норма расхода ТЭР – это норма расхода на основные и вспомогательные технологические процессы производства данного вида продукции, а также технически неизбежные потери энергии при работе оборудования, агрегатов и установок.

Общепроизводственная норма расхода ТЭР – это норма, которая учитывает расходы энергии на основные и вспомогательные технологические процессы, на вспомогательные нужды производства, а также технически неизбежные потери энергии в преобразователях, тепловых и электрических сетях предприятий, отнесенные на производство данной продукции.

Примерный состав общепроизводственных и технологических норм следующий. **Технологическая норма:** технологические процессы; поддержание технологического оборудования в горячем резерве; разогрев и пуск агрегатов после плановых остановок; нормативные потери при работе технологического оборудования. **Общепроизводственная**

норма: технологическая норма; отопление; вентиляция; освещение; внутренний транспорт; хозяйственно-бытовые нужды; потери в сетях и преобразователях.

Технологические нормы разрабатываются для данного технологического процесса производства с учетом участвующих в этом процессе оборудования, применяемого сырья и материалов, степени механизации и автоматизации этого производства. Они, как правило, устанавливаются для энергоемких процессов производства и энергоемких агрегатов и служат для проверки рационального использования энергии на отдельных операциях, том или ином оборудовании, в тех или иных процессах.

Общепроизводственные цеховые нормы предназначены для контроля за рациональным расходом энергии в цехах, расчета общезаводских норм и для определения результатов энергоиспользования в цехах, для премирования цехового персонала за экономию энергии, а также для осуществления планирования энергопотребления на предприятии.

Общепроизводственные нормы предприятия предназначены для контроля за изменением энергоемкости производства по предприятию в целом, определения потребности предприятия в энергии, внутриотраслевого планирования распределения электроэнергии.

Для сопоставления эффективности энергоиспользования важным фактором является размерность норм расхода. Для энергоресурсов имеются свои единицы измерения. Расход электрической энергии измеряется в киловатт-часах, тепловой – в гигакалориях или тысячах килокалорий, по системе СИ – в джоулях.

При разработке норм важно правильно выбрать единицу измерения, на которую будет отнесен расход электрической и тепловой энергии. Где это возможно по условиям учета продукции нормы удельных расходов тепловой и электрической энергии необходимо разрабатывать на производство единицы готовой продукции, на единицу перерабатываемого сырья, на единицу объема выполняемой работы.

Для анализа эффективности энергоиспользования, выявления резервов экономии ТЭР кроме удельных и обобщенных показателей расхода ТЭР рекомендуется рассчитывать систему энергоэкономических показателей, позволяющих исследовать закономерности развития энергохозяйства предприятия во времени. В табл. 10.1. представлен перечень энергоэкономических показателей по нормированию.

Энергоэкономические показатели

Наименование и формула расчета показателя	Пояснение обозначений
Прямые обобщенные энергозатраты $A_{TЭР} = B + K_{Э} \cdot \mathcal{E} + K_q \cdot Q$, т у.т.	B – количество топлива, поступившего на предприятие извне, т у.т.; \mathcal{E} и Q – количество электро- и теплоэнергии, полученные предприятием от энергосистемы, МВт·ч, Гкал; $K_{Э}$ и K_q – топливные эквиваленты – количество условного топлива для производства и передачи к месту потребления единицы электрической и тепловой энергии, т у.т./МВт·ч и т у.т./Гкал; $K_{Э} = 0,296$ т у.т./МВт·ч; $K_q = 0,17$ т у.т./Гкал
Энергоемкость продукции (работы) $A_{П} = A_{TЭР} / П$, т у.т./е.и.п.	$П$ – объем продукции, произведенной за анализируемый период в единицах измерения продукции (е.и.п.)
Электроемкость продукции (работы) $\mathcal{E}_{П} = \mathcal{E} / П$, тыс. кВт·ч/е.и.п.	\mathcal{E} – количество потребленной электроэнергии за анализируемый период, тыс кВт·ч
Теплоемкость продукции $Q_{П} = Q / П$, Гкал/е.и.п.	Q – количество потребленной тепловой энергии за анализируемый период, Гкал
Энерговооруженность труда $A_M = A_{TЭР} / M$, т у.т./чел.	M – среднесписочная численность промышленно-производственного персонала
Электровооруженность труда $\mathcal{E}_M = \mathcal{E} / M$, тыс. кВт·ч/чел.	\mathcal{E} , M – те же обозначения, что и выше
Электровооруженность труда по мощности $\mathcal{E}_P = N_H / M$, тыс.кВт.ч/чел.	N_H – установленная мощность всех токоприемников на предприятии, тыс. кВт
Коэффициент электрификации $\mathcal{E}_{\mathcal{E}} = \mathcal{E} / A_{TЭР}$, тыс. кВт·ч/т у.т.	\mathcal{E} , $A_{TЭР}$ – те же обозначения, что и выше
Теплоэлектрический коэффициент $Q_{\mathcal{E}} = Q / \mathcal{E}$	Q , \mathcal{E} – те же обозначения, что и выше
Электротопливный коэффициент $\mathcal{E}_B = \mathcal{E} / B$, тыс. кВт·ч/т у.т.	\mathcal{E} , B – те же обозначения, что и выше

10.4.3. Методы разработки норм расхода ТЭР

Основными методами разработки норм расхода ТЭР являются:

- **опытный** – заключается в определении удельных затрат ТЭР по данным, полученным в результате испытаний (эксперимента);
- **отчетно-статистический** – предусматривает определение норм расхода на основе анализа статистических данных о фактических удельных расходах ТЭР и факторов, влияющих на их изменение, за ряд предшествующих лет;

- **расчетно-статистический** – использует экономико-статистические модели в виде зависимостей фактического удельного расхода энергоресурса от воздействующих факторов;

- **расчетно-аналитический** – предусматривает определение норм расхода расчетным путем на основе математического описания энергопотребления с учетом нормообразующих факторов.

Расчетно-статистический и расчетно-аналитический методы применяются для разработки как индивидуальных, так и групповых норм расхода ТЭР. Опытный метод применяется для определения только индивидуальных норм расхода ТЭР.

Рекомендуется разумное сочетание названных методов, что позволяет снизить трудоемкость и повысить достоверность энергетического нормирования. Для предприятий, не выпускающих продукцию (работу, услуги), предусмотрено согласование предельных уровней потребления ТЭР.

Постановлением № 819 установлены следующие **санкции** к субъектам хозяйствования:

- за использование энергоресурсов без утвержденных в установленном порядке норм их расхода – в размере 5 % стоимости израсходованных за период потребления ТЭР;

- за перерасход – в размере двукратной стоимости израсходованных сверх установленных норм ТЭР за отчетный квартал, предшествующий дате обнаружения этого перерасхода.

10.4.4. Расчет норм расхода ТЭР

Индивидуальная норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$H_u = \sum_{j=1}^m e_j,$$

где e_j , m – статьи расхода и количество статей расхода, по которым рассчитывается норма.

Если одна из статей расхода намного превосходит остальные, целесообразно представить H_u в виде

$$H_u = e_{\max} \cdot \left(1 + \sum_{j=1}^{m-1} \frac{e_j}{e_{\max}} \right).$$

Групповая норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$H_{gp} = \sum_{i=1}^k (H_{II})_i \cdot \delta_i,$$

где $(H_u)_i$ – индивидуальная норма расхода по i -той технологической группе;

δ_i – удельный вес i -той группы в общем объеме производства продукции;

k – количество технологических групп.

Технологическая норма H_{tex}

$$H_{tex} = (W_{пол} + \Delta W) / \Pi,$$

где $W_{пол}$ – полезная составляющая расхода ТЭР;

ΔW – потери;

Π – выпуск продукции в натуральном выражении.

Общепроизводственная цеховая норма $H_{цех}$ определяется следующим соотношением:

$$H_{цех} = (W_{tex} + W_{всп} + \Delta W_{н.с}) / \Pi_{ц},$$

где W_{tex} – расход ТЭР на технологические нужды;

$W_{всп}$ – расход ТЭР на вспомогательные нужды;

$\Delta W_{н.с}$ – потери в цеховых сетях и преобразовательных установках;

$\Pi_{ц}$ – объем выпуска продукции цехом.

Общепроизводственные заводские нормы равны

$$H_з = (W_{ц} + W_{общ.всп} + \Delta W_{общ.н}) / \Pi_з,$$

где $W_{ц}$ – суммарный расход ТЭР в основных и вспомогательных цехах;

$W_{общ.всп}$ – общезаводской расход ТЭР на вспомогательные нужды (отопление, вентиляцию, освещение, горячее водоснабжение);

$\Delta W_{общ.н}$ – потери в общезаводских сетях и преобразовательных установках;

$\Pi_з$ – объем выпуска продукции заводом.

Практика показывает, что технологические нормы, полученные для одной и той же продукции на разных предприятиях, различны, что объясняется различиями в качестве сырья, технологическими отклонениями от нормы, различными условиями производства.

10.4.5. Классификация организационно-технических мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов

«Положение по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве Республики Беларусь» устанавли-

ливают также порядок разработки мероприятий по энергосбережению, в частности плана организационно-технических мероприятий (ОТМ) по экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), который является важным направлением формирования нормативной базы планирования расхода ТЭР в производстве.

Классификация ОТМ по экономии ТЭР приведена на рис. 10.5.

По виду и составу получаемого экономического эффекта все ОТМ можно разделить следующим образом.

1. **Мероприятия в системе энергоснабжения, не влияющие на производственный процесс.** В этих мероприятиях экономический эффект может достигаться за счет сокращения энергетических потерь и издержек производства, передачи и распределения энергии на ТЭЦ и в котельных; в тепловых, электрических и других энергетических сетях и т.д.

2. **Мероприятия в системе энергоснабжения, влияющие на производственный процесс.** При проведении этих мероприятий может меняться количество и качество энергии, передаваемой из системы энергоснабжения в систему энергоиспользования, а в результате – реконструируется или интенсифицируется производственный процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии и сокращения издержек при производстве, передаче и распределении энергии, а также получения выгод в самом производственном процессе (увеличения выпуска продукции, повышения ее качества, сокращения расхода материалов и т.д.).

3. **Мероприятия в системе энергопотребления, не влияющие на технологический процесс.** К этим мероприятиям относятся все работы во вспомогательных системах обеспечения основного технологического процесса (например, отопление, вентиляция, горячее водоснабжение, освещение), а также во вспомогательных цехах и службах, если они непосредственно не влияют на основной технологический процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии во вспомогательном производстве, сокращения эксплуатационных расходов в основном и вспомогательном производстве.

4. **Мероприятия в системе энергопотребления, влияющие на технологический процесс.** В системе энергопотребления таких работ большинство, т.к. энергопотребляющие агрегаты прямо встроены в технологический процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии и сокращения эксплуатационных расходов в основном производстве.

5. **Мероприятия, повышающие надежность работы энергоустановок.** Они могут осуществляться как в системе энергоснабжения, так и в системе энергопотребления. Экономический эффект в данном случае определя-

ется по предотвращенному (или сниженному) ущербу от некачественного энергоснабжения (например, перерывов в энергоснабжении и т.п.).



Рис. 10.5. Классификация ОТМ по экономии ТЭР

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой энергетическое хозяйство предприятий?
2. Каковы общие принципы организации энергетического менеджмента на предприятии?
3. Каковы цели и задачи энергетического аудита?
4. Какова схема проведения энергетического аудита?
5. Что такое энергетический баланс? Приведите классификацию.
6. Приведите классификацию норм расхода топливно-энергетических ресурсов.
7. Перечислите основные энергоэкономические показатели.
8. По каким соотношениям производится расчет норм расхода топливно-энергетических ресурсов?
9. Как классифицируются организационно-технические мероприятия по экономии топливно-энергетических ресурсов?

Тема 11

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

11.1. Типы инвестиционных проектов

Планирование капиталовложений представляет собой процесс принятия долгосрочных решений относительно возможных вариантов инвестирования средств. Имеются два типа решений о долгосрочных инвестициях.

1. *Решения на дополнительное приобретение*, предусматривающие приобретение новых активов или расширение уже существующих. Они включают в себя:

- капитальные вложения в имущество, станки и оборудование, а также другие виды активов;
- вовлечение ресурсов в оборот в форме разработки новой продукции, проведения исследований рынка и т.п.

2. *Решения на обновление*, предусматривающие замену устаревших средств производства на новые (например, замену станка устаревшей модели на высокотехнологичную модель).

При использовании понятия «инвестиции» подразумеваются следующие особенности:

- инвестиции предназначаются для достижения конкретной социальной и (или) экономической цели;
- инвестиционные ресурсы используются для организации вполне определенной долговременной деятельности, направленной на достижение этой цели;
- рассматриваемая деятельность ограничена во времени.

В связи с этим возможна следующая упрощенная трактовка понятия «*инвестиционный проект*»: проект включает в себя замысел (проблему, цели, задачи), средства его реализации (привлекаемые ресурсы) и получаемые в процессе реализации результаты.

Проектный цикл включает три основные фазы:

- *прединвестиционную* (определение целей и задач; отбор идей проекта; разработка бизнес-плана проекта, подготовка экспертного заключения по проекту). Бизнес-план содержит подробную и всестороннюю информацию о проекте и ориентирован на конкретного потенциального инвестора – кредитора, собственника, частного вкладчика;

- **инвестиционную** (проведение переговоров и заключение контрактов; инженерно-техническое проектирование; предпроизводственный маркетинг; внедрение и отладка технологий);

- **эксплуатационную** (замена, реабилитация оборудования; расширение производства, инновация).

Подготовке конкретного бизнес-плана предшествует всесторонний и тщательный анализ проекта.

Различают следующие виды проектного анализа: неэкономические – технический; социальный; экологический; экономические – финансовый; экономический.

11.2. Риски инвестиционных проектов

Проектный риск – опасность, возможность убытка или ущерба. Риск относится к возможности наступления какого-либо неблагоприятного события: потерь части ресурсов, снижения доходов или появления дополнительных расходов по сравнению с вариантом, предусмотренным проектом.

При принятии решения о реализации инвестиционных проектов необходимо учитывать, что при большем риске проект должен иметь большую прибыль инвестора.

Риск подразделяется на два типа – динамический и статический.

Динамический риск – это риск непредвиденных изменений стоимости основного капитала. Такие изменения могут привести как к потерям, так и к дополнительным доходам.

Статический риск – это риск потерь реальных активов вследствие нанесения ущерба собственности, а также потерь доходов из-за неспособности организации. Эти обстоятельства приводят только к потерям.

Факторы, которые потенциально могут повлиять на увеличение степени риска проекта, можно разделить на две группы – объективные и субъективные.

К **объективным факторам** относятся факторы, не зависящие непосредственно от самого участника проекта (факторы внешней среды).

Субъективные факторы характеризуют внутреннюю среду организации. К таким факторам относятся производственный потенциал, уровень производительности труда и т.д.

Проектные инвестиционные решения могут принимать в различных условиях, которые называются **средой принятия решений**. Выделяют три возможные среды – определенности, риска (вероятной определенности), неопределенности.

Среда определенности характеризуется известными будущими исходами осуществления проекта.

Средой риска является ситуация, когда известны возможные исходы осуществления проекта и вероятности их появления.

Среда неопределенности соответствует такой ситуации, когда известны только возможные исходы осуществления проекта и неизвестны вероятности этих исходов.

При реализации того или иного проекта могут возникать следующие **виды рисков**:

- **политический риск** – угроза извне, вмешательство государства в экономику, введение запретов на импорт и т.д.;
- **социальный риск** – безработица, возможность забастовок, выражение недоверия со стороны работников органам власти на местах, администрации предприятия и т.д.

В ряде случаев эти виды рисков объединяют в социально-политический риск.

- **экономический риск**:
 - *производственный*, связанный с возможностью невыполнения предприятием своих обязательств по контракту с заказчиком;
 - *финансовый*, связанный с возможностью невыполнения предприятием своих финансовых обязательств перед инвестором;
 - *рыночный*, вызываемый колебаниями курсов валют и процентных ставок;
 - *инвестиционный*, связанный с возможностью обесценивания инвестиционного портфеля, состоящего как из собственных, так и приобретенных ценных бумаг;
 - *коммерческий*, отражающий ненадежность будущих доходов за счет уменьшения объемов продаж, роста цен на потребляемые ресурсы и прочих факторов;
- **экологический риск** связан с возможным возникновением стихийных бедствий, пожаров, аварий и т.п.;
- **юридический риск** вызывается неблагоприятными для участников проекта изменениями в законодательстве (введение нового налога, отмена налоговых льгот и т.д.).

По стадиям проявления риск можно классифицировать на предоперационный и операционный. Анализ по стадиям осуществления проекта позволяет финансирующей организации выявить риск, присущий конкретному проекту, и предусмотреть меры по его снижению.

Изучение *предоперационного риска* включает в себя:

- анализ устава предприятия, реализующего проект;
- проверку защищенности авторских прав, документов, подтверждающих экологическую чистоту производства, пожарную безопасность и т.д.;
- оценку укомплектованности предприятия квалифицированной рабочей силой;
- оценку имеющихся у предприятия финансовых ресурсов.

При исследовании *операционного риска* оценивают:

- возможность падения объемов продаж (производства);
- стабильность системы налогообложения, обменного курса валют;
- ритмичность материально-технического обеспечения производства.

11.3. Анализ проектных рисков

Назначение анализа риска заключается в том, чтобы дать потенциальным партнерам необходимую информацию для принятия решений о целесообразности участия в проекте и предусмотреть меры по защите от возможных финансовых потерь.

Анализ рисков можно подразделить на два вида: качественный и количественный.

Задача *качественного анализа* – определить факторы риска, этапы и работы, при выполнении которых он возникает, установить его потенциальные области, после чего идентифицировать все возможные риски.

Количественный анализ подразумевает численное определение размеров отдельных рисков и риска проекта в целом. При этом часто используется метод экспертных оценок, заключающийся в том, что каждому показателю, характеризующему определенный вид риска, присваивается некоторое количество баллов. При этом каждый из показателей в системе оценки имеет свой вес, соответствующий его значимости. Затем полученные в процессе экспертизы баллы суммируются по всем показателям с учетом весовых коэффициентов, и образуется обобщенная оценка данного вида риска:

$$R_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot r_{ij} ,$$

где R_j – обобщенная оценка риска j -того вида;

b_{ij}, r_{ij} – соответственно весовой коэффициент и значение i -того показателя риска j -того вида;

n – число показателей.

Областью риска называется некоторая зона потерь, в границах которой они не превышают предельного значения установленного уровня риска. Выделять пять областей риска:

1 – *безрисковая область* (гарантируется, как минимум, получение расчетной прибыли, коэффициент риска – 0 %);

2 – *область минимального риска* (гарантируется получение основной части чистой прибыли, коэффициент риска – 0 – 25 %);

3 – *область повышенного риска* (в худшем случае будет произведено покрытие всех затрат, в лучшем – получена небольшая часть прибыли, коэффициент риска – 25 – 50 %);

4 – *область критического риска* (потери превышают величину расчетной прибыли, но находятся в пределах валовой прибыли, коэффициент риска – 50 – 75 %);

5 – *область недопустимого риска* (потери близки к размеру собственных средств, предприятие находится на грани банкротства, коэффициент риска – 75 – 100 %).

11.4. Способы снижения инвестиционных рисков

Большинство проектов, связанных с созданием энергетических источников, характеризуется большими капитальными вложениями и сроками реализации и, соответственно, повышенной степенью риска. Высокая степень риска проекта приводит к необходимости поиска путей ее снижения.

В практике управления проектами существует несколько **способов** снижения риска:

- диверсификация проекта;
- распределение риска между участниками проекта;
- привлечение страховых компаний;
- приобретение дополнительной информации;
- резервирование средств на покрытие непредвиденных расходов.

Диверсификация – распределение усилий предприятия между видами деятельности, результаты которых непосредственно не связаны между собой. Принимая решение об инвестициях в какой-либо проект, инвестор

должен рассматривать его не изолированно, а во взаимосвязи с другими проектами и с уже имеющимися видами деятельности предприятия. В целях снижения риска желательно выбирать производство таких товаров или услуг, спрос на которые изменяется в противоположных направлениях.

Распределение риска между участниками проекта заключается в том, чтобы сделать ответственным за конкретный вид риска того участника проекта, который в состоянии лучше всех остальных рассчитывать и контролировать этот риск. Следует учитывать, что чем большую степень риска участника проекта намереваются возложить на инвесторов, тем сложнее привлечь инвесторов к финансированию проекта.

Большинству крупных проектов свойственны задержки в их реализации, что может привести для заказчика к такому увеличению стоимости работ, которая превысит первоначальную стоимость проекта.

Например, в результате отставания ввода в эксплуатацию нефтепровода, предназначенного для транспортировки нефти осваиваемого месторождения, штраф, который должен заплатить подрядчик (строительная организация), окажется значительно меньше потерь заказчика (добывающего предприятия).

Выход из такой ситуации заключается в том, что к участию в проекте должна быть привлечена страховая компания. **Страхование риска** есть по существу передача определенных рисков страховой компании.

Уменьшить уровень риска проекта в ряде случаев можно путем **приобретения дополнительной информации**, позволяющей уточнить некоторые параметры проекта, повысить уровень надежности и достоверности исходной информации и снизить вероятность принятия неэффективного решения. Дополнительную информацию можно получить различными способами – приобретением ее у других организаций, проведением эксперимента и т.д.

Наиболее распространенным способом снижения риска проектов является **резервирование средств на покрытие непредвиденных расходов**.

11.5. Схемы финансирования проектов

Финансирование проектов может осуществляться как на возвратной основе, так и на безвозвратной основе.

Государственные программы капиталовложений – преимущественная форма реализации схемы финансирования проектов на безвозвратной основе. Схемы финансирования проектов на возвратной основе в большей степени присущи переходной и рыночной экономике.

Средства, выделенные на возвратной основе, подлежат возврату в соответствии с действующим законодательством. Здесь возможна реализация нескольких схем финансирования.

Традиционная схема финансирования (рис. 11.1) включает инвестора (кредитора), потребителя энергоэффективной технологии и ее поставщика. Потребитель берет заем у кредитора, заключает договор с поставщиком на приобретение оборудования, предварительно оплачивая его стоимость, и за счет последующей экономии энергии погашает долг перед кредитором.

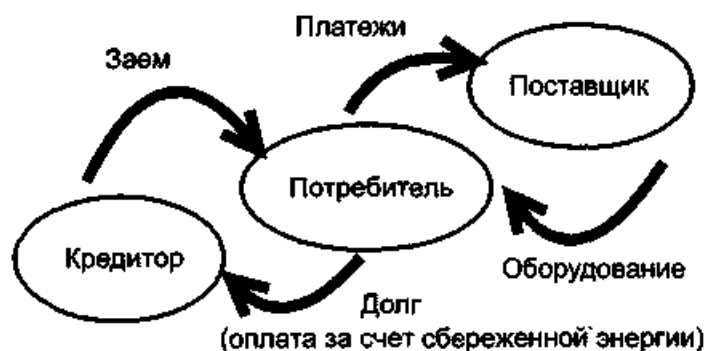


Рис. 11.1. Традиционная схема финансирования

Лизинг (рис.11.2) позволяет потребителю взять в аренду энергоэффективное дорогостоящее оборудование с условием постепенной выплаты стоимости с процентами за счет экономии средств от снижения потребления энергии после его внедрения. Аренда может быть среднесрочной или долгосрочной. Во многих случаях целесообразно, чтобы договор предусматривал после полной выплаты стоимости оборудования передачу его в собственность потребителю.

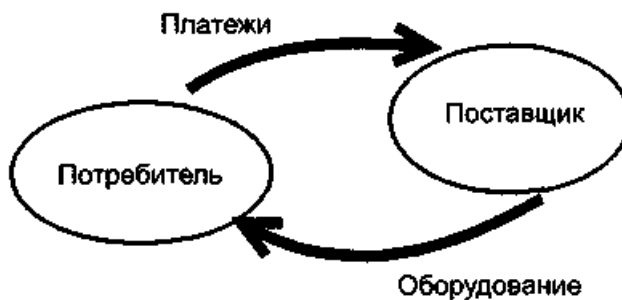


Рис. 11.2. Лизинг

За рубежом получило распространение финансирование внедрения энергосберегающих проектов в виде перформанс-контрактов. На рынке услуг многих стран, прежде всего в США и Западной Европе, работают энергосервисные компании (ЭСКО), которые берут на себя весь комплекс работ от проведения тщательного энергоаудита, с целью выявления резервов повышения эффективности использования энергии, до внедрения энергоэффективных технологий под ключ. Оплата услуг ЭСКО осуществляется после внедрения проекта за счет части средств, полученных в результате экономии энергии. Могут быть реализованы два вида перформанс-контрактов – по линейной и кольцевой схемам.

Линейная схема финансирования (рис. 11.3) предусматривает, что заем берет энергосервисная компания, которая после разработки проекта осуществляет все платежи, связанные с закупкой оборудования и его монтажом. Договор между потребителем услуг и ЭСКО предусматривает их оплату после внедрения проекта и фактической экономии энергии. Доля средств за счет сбережения энергии, направляемая предприятием на оплату услуг, оговаривается в договоре.



Рис. 11.3. Линейная схема финансирования на основе перформанс-контрактов

В соответствии с **кольцевой схемой финансирования** (рис. 11.4) кредитор выделяет средства под гарантии потребителя, который оплачивает услуги ЭСКО. ЭСКО разрабатывает и внедряет проект, помогает закупать оборудование, но при этом часть платежей поставщику непосредственно осуществляет потребитель. В итоге погашение долга осуществляется за счет сбережения энергии.

Прибыль складывается из разности текущих расходов на энергию до и после реализации энергоэффективного проекта. За счет сбережения энергии осуществляется оплата услуг энергосервисной компании или другому кредитору.

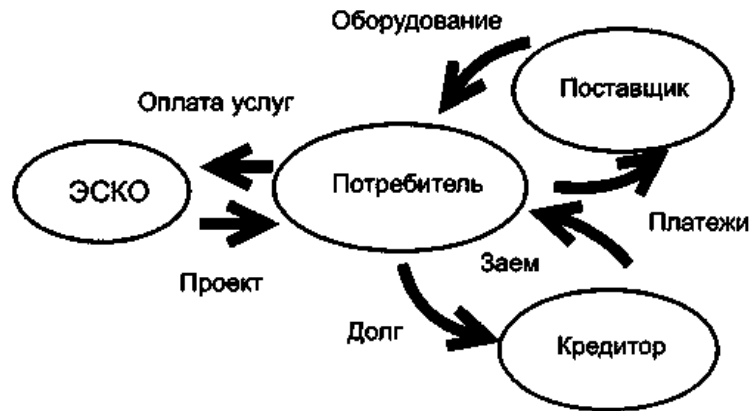


Рис. 11.4. Кольцевая схема финансирования на основе перформанс-контрактов

11.6. Методы проектного анализа

11.6.1. «Экономические» методы проектного анализа

«Экономические» методы проектного анализа включают:

- финансовый анализ;
- собственно экономический анализ.

Финансовый анализ является одним из главных при разработке инвестиционного проекта. Он рассматривает результаты проекта с точки зрения интересов его непосредственных участников.

В результате финансового анализа ожидается получить ответы на ряд вопросов:

- возмещаются ли финансовые затраты на проект в результате его реализации, как быстро и с какой рентабельностью?
- позволяет ли финансовое состояние фирмы реализовать проект, обеспечить возмещение затрат и получение прибыли?
- насколько устойчивы финансовые показатели по отношению к различного рода рискам и неопределенностям?

Анализ финансовой рентабельности проекта должен учитывать поток реальных денег предприятия, реализующего проект. При формировании денежных потоков проекта, используемых при его финансовом анализе, необходимо учитывать ряд особенностей, отличающих данный анализ от обычных бухгалтерских расчетов. Это особенности связаны с фундаментальным экономическим понятием альтернативных издержек.

Любой ресурс, затрагиваемый проектом, должен оцениваться по стоимости его возможного наилучшего использования. При оценке ценности используемых ресурсов принимаются во внимание как явные (бухгал-

терские) затраты, которые приводят к фактическим денежным выплатам, так и неявные, которые не приводят к денежным расходам (выплатам). К неявным издержкам относятся издержки упущенных возможностей, связанные с использованием ресурсов, которые вовлекаются в проект, но могли быть использованы в другом проекте и принести определенный доход. Этот доход и считается издержками, связанными с использованием данных ресурсов. Таким образом, понятие об альтернативных издержках приводит к необходимости оценки ситуаций «с проектом» и «без проекта». Сравнение этих ситуаций представляет собой общий подход, применяемый в проектном анализе для демонстрации того, что будет происходить с течением времени с предприятием при реализации проекта и что будет при его отсутствии.

Экономический анализ проектов проводится с позиций интересов всего общества, с позиций экономики страны.

Сущность вопросов, на которые ожидается получить ответы в результате экономического анализа:

- превышают ли выгоды для страны в целом все затраты, связанные с реализацией и эксплуатацией проекта?
- сохраняется ли это превышение при учете различного рода рисков и неопределенностей?

Оценить проект с позиций интересов национальной экономики страны означает проверить разумность с точки зрения общества выделения ресурсов на осуществление именно этого проекта при наличии многих альтернатив. Кроме того, экономический анализ должен позволить не только оценить эффективность использования средств на протяжении всего жизненного цикла проекта, но и создать базу для исследования влияния проекта на различные группы населения и природную среду. При таком подходе экономический анализ становится интегрирующим, объединяющим результаты анализа по другим аспектам, включая технический, социальный и экологический.

Цель экономического анализа – определить, является ли он экономически выгодным использованием средств, которыми располагает общество в целом.

Особенности «экономических» методов анализа проектов.

Финансовый и экономический анализы имеют между собой определенные сходства и различия.

Сходства – схема оценки; критерии оценки проектов.

Схема оценки проекта предусматривает сопоставление выгод и затрат проекта. При этом используются формально те же критерии, что и в финансовом анализе. Однако следует помнить, что вследствие различия целей показатели эффективности отражают в одном случае соотношение затрат и выгод для предприятия, а в другом – для всего общества, экономики страны.

Различия – цели проекта; трактовка налогов и платежей, субсидий, дотаций и пособий; трактовка кредитных операций внутри страны; формирование показателей затрат и выгод.

Существенное различие состоит в трактовке налогов, субсидий и дотаций. В финансовом анализе налоги, которые платит предприятие, реализующее проект, увеличивают его затраты на осуществление проекта. Аналогично любые субсидии, предоставляемые предприятию, увеличивают его доходы от проекта. Таким образом, в финансовом анализе все налоги и субсидии трактуются аналогично остальным расходам и поступлениям. В экономическом анализе уплата налогов не учитывается как затрата при оценке проекта.

В экономическом анализе принято различать материальные выгоды (затраты) и нематериальные выгоды (затраты).

К материальным выгодам можно отнести: увеличение объема продукции; повышение качества продукции; изменение вида продукции; снижение издержек; предотвращение потерь и т.д.

Нематериальные выгоды: рост уровня образования; улучшение здоровья; повышение уровня жизни и др.

Особые трудности вызывают нематериальные выгоды, которые необходимо определить, дать им количественное выражение и, если возможно, оценить в денежном выражении.

11.6.2. «Неэкономические» методы проектного анализа

К «неэкономическим» методам проектного анализа относятся:

- технический анализ;
- социальный анализ;
- экологический анализ.

Целью *технического анализа* проекта является обоснование технологической и технической возможности реализации проекта – доступность технологий и оборудования, необходимых для производства продукции проекта, возможность их освоения и эффективной эксплуатации в конкретных условиях. Технический анализ обычно представляется в начале

проектных документов. В процессе его проведения изучаются технико-технологические альтернативы, варианты местонахождения предприятия, сроки реализации проекта и т.д. Технический анализ проводится на протяжении всего жизненного цикла проекта с учетом общих задач, решаемых на каждом из его этапов.

Задачей **социального анализа** проекта является определение пригодности предлагаемых вариантов проекта с точки зрения интересов населения территории и социальной группы, на которую он воздействует своей продукцией. Особое требование – рассмотрение и учет интересов групп населения, наиболее чувствительных к переменам, вносимым проектом.

В результате проведения социального анализа в проекте намечается такая стратегия его осуществления, которая в идеале пользовалась бы поддержкой местного населения и той социальной группы, на которую он влияет. Кроме того, проект должен быть принят (или хотя бы «не замечен») широкой общественностью, особенно по природоохранным соображениям.

Реализация любого проекта (тем более связанного с развитием энергетических источников) вызывает определенное изменение ситуации в политической, экономической или социальной сферах. Это изменение может быть выгодно одним социальным группам и невыгодно (или даже вредно) для других. В связи с этим окончательное экспертное заключение должно учитывать баланс интересов не только отдельных социальных групп, но и общества в целом.

Задача **экологического анализа** заключается в установлении баланса между потребностью людей в природных ресурсах и способностью окружающей среды удовлетворять эти потребности.

Основной задачей экологического анализа является установление потенциального ущерба окружающей среде во время осуществления проекта и определение мер, необходимых для его предотвращения или смягчения.

Для повышения эффективности проекта экологические проблемы должны быть отражены в проектной документации на самой ранней стадии. Эта документация должна отражать экологические риски и возможности их снижения за счет соответствующего плана действий.

Проведение стандартного анализа экологической эффективности проектов часто бывает затруднено в связи с тем, что экологические затраты и выгоды, обнаруживающиеся в течение сравнительно длительного времени, достаточно трудно измерить и предсказать.

Если затраты и выгоды невозможно установить количественно, следует последствия решений оценить качественно. Качественный анализ должен показать разницу между ситуациями «с проектом» и «без проекта», а также различие между альтернативными вариантами.

11.7. Методы оценки инвестиционных проектов

Инвестиционные проекты обладают тремя особенностями.

1. На первоначальном этапе они связаны с большими затратами денежных средств, что может в долгосрочном плане сказаться на будущей прибыльности фирмы.

2. В течение срока инвестиционного проекта следует ожидать периодического притока денежных средств. При этом часто приходится учитывать временную ценность денег.

3. При принятии решения по принципу «согласиться или отказаться» большую роль играет налог на доходы. В любом решении, связанном с планированием капиталовложений, необходимо учитывать налоговый фактор.

Существует несколько *методов оценки* инвестиционных проектов:

- по периоду окупаемости ($T_{ок}$);
- по учетной норме прибыли (УНП);
- по чистой текущей ценности (ЧТЦ);
- по внутренней норме рентабельности (ВНР);
- по индексу рентабельности (ИР).

Правила принятия решений по проектам исходя из различных способов оценки эффективности их инвестирования выглядят следующим образом:

- по периоду окупаемости ($T_{ок}$) – наименьший срок окупаемости;
- по учетной норме прибыли (УНП) – наибольшая норма прибыли;
- по чистой текущей ценности (ЧТЦ):
 - ЧТЦ положительное значение – ДА;
 - ЧТЦ отрицательное значение – НЕТ;
- по внутренней норме рентабельности (ВНР):
 - ВНР превышает принятую ставку дисконта – ДА;
 - ВНР меньше принятой ставки дисконта – НЕТ;
- по индексу рентабельности (ИР):
 - ИР больше единицы – ДА;
 - ИР меньше единицы – НЕТ.

11.7.1. Упрощенные методы оценки инвестиционной стоимости проектов

Период окупаемости представляет собой отрезок времени, необходимый для возмещения первоначального объема инвестиций.

Пример 1

Исходная ситуация.

Инвестиции – 18 000 дол.

Ежегодная сумма накопления денежных средств – 3 000 дол.

$$T_{ок} = \frac{\text{стоимость} \cdot \text{инвестиций}}{\text{ежегодные} \cdot \text{накопления} \cdot \text{денежных} \cdot \text{средств}} = \frac{18\,000}{3\,000} = 6 \text{ лет.}$$

Когда приток денежных средств происходит неравномерно, период окупаемости следует рассчитывать методом подбора значений.

Пример 2

Исходная ситуация.

Сравним два проекта, по которым поступление денежных средств после уплаты налогов происходит неравномерно.

Предположим, что инвестиционная стоимость каждого проекта составляет 1 000 дол.

Приток денежных средств по проектам согласно табл. 11.1.

Таблица 11.1

Приток денежных средств по проектам А и Б

Год	Проект А, дол.	Проект Б, дол.
1	100	500
2	200	400
3	300	300
4	400	100
5	500	–
6	600	–

В данном случае период окупаемости по проектам – А = 4 года, Б = 2 1/3 года.

Правило принятия решений по $T_{ок}$: принимая решение, выбирайте вариант с наименьшим сроком окупаемости проекта. Смысл этого в том, что чем меньше срок окупаемости, тем меньше риск.

Преимущества метода – прост в использовании и эффективно характеризует инвестиционный риск. Недостатки метода – не учитываются временная ценность денег и влияние денежных средств, поступающих после срока окупаемости.

Учетная норма прибыли (УНП) определяется как отношение будущей величины чистой годовой прибыли к необходимым инвестициям.

Пример 3

Исходная ситуация.

Первоначальные капиталовложения – 6 500 дол.

Годовая сумма поступлений денежных средств – 1 000 дол.

Годовая сумма амортизационных отчислений (на базе равномерного начисления износа) – 325 дол.

$$\text{УНП} = (1\,000 - 325) \text{ дол./год} / 6\,500 \text{ дол.} = 0,104 \text{ или } 10,4 \%$$

Правило принятия решения – наибольшая норма прибыли.

Достоинствами этого метода являются простота расчетов и учет фактора прибыльности. Недостатки – невозможность учета показателя временной ценности денег и использование учетно-расчетных показателей вместо данных о потоках денежных средств.

11.7.2. Методы дисконтирования

Текущая ценность (ТЦ) представляет собой оценку сегодняшней стоимости будущего дохода. Рубль или другая денежная единица, полученная завтра, не эквивалентна сегодняшней. Это связано не только с инфляцией. Следует учитывать упущенные возможности в получении дохода от использования средств в будущем. В инвестиционном анализе обычно используется математический метод приведения денежных поступлений будущих периодов к настоящему уровню, называемый методом дисконтирования.

Метод дисконтирования – приведение денежной суммы будущего периода к текущему. Текущая ценность будущих поступлений устанавливается путем использования так называемой *ставки дисконта* – минимально потребной нормы прибыли, которую устанавливает для себя инвестор.

При определении ставки дисконта инвестор ориентируется на банковский процент по долгосрочным вкладам, инфляцию и инвестиционный риск:

$$r = a + i + r_i,$$

где a – банковский процент;

i – уровень предполагаемой инфляции;

r_i – индекс учета инвестиционного риска (связан с обесцениванием инвестиций и других ценных бумаг).

Когда поступление денежных средств происходит неравномерно, текущая ценность определяется по соотношению

$$TЦ = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t},$$

где t – порядковый номер года действия проекта;

n – время реализации проекта;

A_t – годовой объем поступлений денежных средств;

r – ставка дисконта.

При равномерном поступлении денежных средств это соотношение может быть преобразовано к виду

$$TЦ = \frac{A_t}{r} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right).$$

Чистая текущая ценность (ЧТЦ) представляет собой превышение текущей ценности над суммой первоначальных инвестиций (И):

$$ЧТЦ = TЦ - И.$$

Пример 4

Исходная ситуация.

Первоначальные капиталовложения в проект, связанный с модернизацией оборудования, – 3 000 дол.

Расчетный срок амортизации – 2 года.

Годовая сумма поступлений денежных средств – 3 000 дол./год.

Ставка дисконта – 12 %.

В данном случае

$$TЦ = 3\,000 \cdot [1/(1+0,12)^1 + 1/(1+0,12)^2] = 5\,070 \text{ дол.}$$

или по соотношению для равномерного поступления денежных средств

$$TЦ = 3\,000/0,12 \cdot [1 - 1/(1+0,12)^2] = 5\,070 \text{ дол.},$$

$$ЧТЦ = 5\,070 - 3\,000 = 2\,070 \text{ дол.}$$

Правило принятия решения: ЧТЦ > 0 – да; ЧТЦ < 0 – нет.

Достоинствами метода оценки по ЧТЦ является то, что им безоговорочно учитывается временная ценность денег.

Внутренняя норма рентабельности (ВНР) определяется как ставка дисконта, при которой величина И равняется величине ТЦ, т.е. ВНР определяется из условия

$$TЦ - И = ЧТЦ = 0.$$

Пример 5

Принимая условия предыдущего примера и предполагая, что первоначальные капиталовложения составили 5 070 дол., получим

$$ЧТЦ = ТЦ - И = 5\,070 - 5\,070 = 0 \text{ при } r = 12\%, \text{ т.е. ВНР} = 12\%.$$

Обычно ВНР проектов определяется методом подбора ставок дисконта или с помощью специальных таблиц для расчета текущей ценности денежной единицы. В то же время ВНР можно определить и графическим методом по пересечению кривой зависимости ЧТЦ от r с осью абсцисс (ставок дисконта).

Значение ВНР, при котором проект можно считать привлекательным, должно превышать принятую ставку дисконта.

Преимущество метода заключается в том, что учитывается временная ценность денег, поэтому он является более точным и реалистичным. К числу недостатков относится то, что он требует значительного времени для проведения расчетов при неравномерном поступлении денежных средств. Кроме того, метод не учитывает изменения объемов инвестиций по конкурирующим проектам.

Индекс рентабельности (ИР) проекта есть отношение текущей ценности будущих денежных поступлений к величине первоначальных инвестиций:

$$ИР = ТЦ / И.$$

Пример 6

Принимая условия предыдущего примера, получим:

$$ИР = 5\,070 / 3\,000 = 1,6.$$

В данном случае проект можно считать привлекательным, т.к. $ИР > 1$.

Индекс рентабельности служит средством расположения проектов по рейтингу привлекательности в порядке убывания.

11.8. Источники финансирования энергоэффективных проектов

В последние годы различные финансовые организации, банки, фонды и т.п. проявляют все больший интерес к инвестированию проектов, связанных с энергосбережением и повышением эффективности использования энергоресурсов.

По оценкам специалистов потенциальный рынок инвестиций для повышения эффективности использования энергии в странах бывшего СССР, Центральной и Восточной Европы оценивается в 40 млрд дол. со сроком

окупаемости не выше трех лет, что значительно выгоднее, чем вкладывать деньги в сооружение новых энергетических мощностей, где срок окупаемости типовых проектов составляет от 10 до 15 лет.

Среди потенциальных крупных западных инвесторов в этой области ведущую роль играют следующие организации:

а) финансирующие в общественном секторе.

Мировой банк предоставляет займы только правительствам или агентствам, которые могут получить государственную гарантию на возвращение займа. В настоящее время Мировой банк является самым большим источником финансовой и технической помощи развивающимся странам. Срок возвращения займа – 12 – 15, включая отсрочку от 3 до 5 лет.

Глобальный фонд окружающей среды финансирует инновационные проекты, имеющие преимущества для сохранения окружающей среды в глобальном масштабе либо требующие дополнительного финансирования для достижения этих преимуществ. Для отдельных проектов финансирование ограничено 10 млн дол. США, для проектов, являющихся компонентами более крупных проектов Мирового банка, – 30 млн дол.

Комиссия Европейского союза в рамках программ PHARE, TESIS и др. оказывает финансовую поддержку проникновения в страны бывшего СССР, Центральной и Восточной Европы новых энергоэффективных технологий. Средства по этим программам выделяются в форме грантов. Как правило, для одобрения проектов в рамках этих программ необходимо иметь партнеров из стран Европейского Союза.

В большинстве своем проекты, финансируемые Европейским союзом для Восточноевропейских стран, носят консалтинговый характер: организация технических и деловых контактов по созданию совместных предприятий, обучение персонала и др.;

б) финансирующие в частном секторе.

Европейский банк реконструкции и развития предоставляет займы, осуществляет доленое инвестирование, обеспечивает гарантию долга, проводит консультации и техническое сотрудничество в области предпринимательской деятельности при переходе к рыночной экономике в странах Центральной и Восточной Европы. 60 % займов банк направляет на финансирование частных предприятий и инициатив. Так как эти займы имеют большой риск, чем, например, займы Мирового банка под правительственные гарантии, банк финансирует проекты только при условии их полезности в стране, в которой они осуществляются.

Международная Финансовая Корпорация является членом Мирового банка и источником прямого финансирования частного сектора на рыночных условиях в развивающихся странах и, в частности, в Восточной Европе. В отличие от Мирового банка корпорация не требует гарантии правительства страны, в которой осуществляется проект. Минимальный объем инвестирования на поддержку проекта составляет 10 млн дол. Займы предоставляются на период от 7 до 12 лет. Приоритетное направление для корпорации – частная энергетика и энергетическая экономика.

Зарубежная Частная Инвестиционная Корпорация обеспечивает среднесрочное и долгосрочное финансирование в виде гарантий займов кредитным учреждениям в пределах от 2 до 50 млн дол. для малых и средних частных компаний.

Экономический Фонд Помощи Предприятиям предоставляет прямые займы и долевое инвестирование до 2 млн дол. на проекты в области возобновляемых источников энергии и энергоэффективных технологий, причем прямые займы предоставляются под более низкий процент, чем долевые инвестиции.

В России в 1992 г. был организован **Российский фонд энергетической эффективности**, который предназначен, в основном, для поддержки программ и проектов международного сотрудничества в этой области, в том числе путем возвращения займов Мировому банку и другим финансовым учреждениям за счет доходов от экспорта газа или нефти, сбереженных в энергоэффективных демонстрационных зонах.

Факторами, способствующими привлечению инвестиций в Республику Беларусь в настоящий момент, являются – удобное географическое положение, относительно дешевая рабочая сила и квалифицированные кадры.

В Республике Беларусь также создан **Белорусский банк реконструкции и развития**, который осуществляет деятельность по кредитованию энергоэффективных проектов.

Специальными фондами, предназначенными для целевого финансирования мероприятий, связанных с энерго- и ресурсосбережением, является **республиканский фонд «Энергосбережение»** и **фонд «Энерго- и ресурсосбережение»**, который создается субъектами хозяйствования.

Формирование республиканского фонда «Энергосбережение» (источники поступления средств) указан в Законе «Об энергосбережении».

В соответствии с положением о фонде, утвержденном Постановлением № 1703 от 05.11.98 г., средства фонда расходуются:

- на осуществление мероприятий и реализацию программ по энергосбережению, включая научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- доленое участие в разработке и внедрении энергосберегающих технологий, оборудования и материалов;
- участие в организации международного сотрудничества в сфере энергосбережения;
- предоставление льгот и субсидий пользователям и производителям ТЭР при реализации ими мероприятий по энергосбережению;
- осуществление мероприятий, связанных с развитием малой и нетрадиционной энергетики, использованием возобновляемых источников энергии и ВЭР;
- проведение государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений;
- проведение работ по энергетическому обследованию предприятий, учреждений и организаций;
- подготовку и переподготовку кадров для сферы энергосбережения;
- организацию пропаганды и информационного обеспечения по вопросам эффективного использования ТЭР.

В отличие от централизованного фонда «Энергосбережение» фонд «Энерго- и ресурсосбережение» создается на предприятиях независимо от форм собственности за счет экономии топливно-энергетических, материальных и сырьевых ресурсов в течение года после внедрения энерго- и ресурсосберегающих мероприятий. Средства фонда можно использовать на следующие мероприятия:

- финансирование работ по внедрению энерго- и ресурсосберегающих мероприятий и технологий;
- финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новой техники и технологий;
- возврат банкам полученных на цели энерго- и ресурсосбережения кредитов и уплату процентов за пользование ими;
- подготовку и повышение квалификации кадров в области энерго- и ресурсосбережения;
- премирование работников за внедрение энерго- и ресурсосберегающих мероприятий. При этом на премирование может быть использовано до 50 % полученной экономии денежных средств. В случае использования средств инновационных фондов или республиканского фонда «Энергосбережение» на премирование может быть направлено не более 30 % полученной экономии финансовых средств.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают типы инвестиционных проектов?
2. Дайте определение проектных рисков.
3. Что понимают под средой принятия решений?
4. Перечислите виды рисков.
5. Как проводится анализ проектных рисков?
6. Назовите способы снижения инвестиционных рисков.
7. Приведите схемы финансирования проектов.
8. Назовите экономические и неэкономические методы проектного анализа.
9. Перечислите методы оценки инвестиционных проектов (перечень, правила принятия решений).
10. Какие методы оценки инвестиционной стоимости проектов относятся к упрощенным методам?
11. Какие методы оценки инвестиционной стоимости проектов называются методами дисконтированного потока денежных средств?
12. Назовите источники финансирования энергоэффективных проектов.

Тема 12

НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Правовую основу государственной политики энергосбережения и решения всех проблем в области эффективного использования энергии образуют:

- Закон «Об энергосбережении»;
- республиканские, отраслевые и региональные программы энергосбережения;
- указы Президента, постановления Совета Министров Республики Беларусь и других правительственных органов по конкретным вопросам координации и реализации энергосберегающей политики.

Основой регулирования отношений, возникающих в процессе деятельности юридических и физических лиц в сфере энергосбережения, является Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении», принятый 19 июня 1998 года. В преамбуле закона говорится, что *энергосбережение является приоритетом государственной политики в решении энергетических проблем в Республике Беларусь.*

Структура закона представлена в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Структура Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении»

Главы		Статьи	
№	Наименование	№	Наименование
1	Общие положения	1	Основные понятия
		2	Законодательство об энергосбережении
		3	Субъекты отношений в сфере энергосбережения
		4	Международное сотрудничество в сфере энергосбережения
2	Основы государственного управления энергосбережением	5	Основные принципы государственного управления в сфере энергосбережения
		6	Государственное управление в сфере энергосбережения
		7	Учет топливно-энергетических ресурсов
		8	Программы энергосбережения
		9	Научно-техническое обеспечение в сфере энергосбережения
		10	Нормы расхода топлива и энергии
		11	Стандартизация, сертификация и метрология в сфере энергосбережения
		12	Государственный надзор за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов

Окончание табл.

		13	Государственная экспертиза энергетической эффективности проектных решений
		14	Проведение энергетического обследования предприятий, учреждений, организаций
		15	Государственное статистическое наблюдение за эффективным использованием топливно-энергетических ресурсов
		16	Образование и подготовка кадров для сферы энергосбережения
		17	Информационное обеспечение деятельности по энергосбережению
3	Экономические и финансовые механизмы энергосбережения	18	Источники финансирования
		19	Республиканский фонд «Энергосбережение»
		20	Экономическое стимулирование энергосбережения
4	Ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении	21	Ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении
5	Заключительные положения	22	Вступление в силу настоящего Закона

Глава 1. В статье 1 дан ряд определений, в т.ч. «энергосбережение», «пользователи топливно-энергетических ресурсов», «производители топливно-энергетических ресурсов».

Энергосбережение – организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода (потерь) ТЭР в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.

Пользователи ТЭР – субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории Республики Беларусь в качестве юридических лиц или предпринимателей без образования юридического лица, а также другие лица, которые в соответствии с законодательством Республики Беларусь имеют право заключать хозяйственные договоры, и граждане, использующие ТЭР.

Производители ТЭР – субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории Республики Беларусь в качестве юридических лиц, для которых любой из видов ТЭР, используемых в республике, является товарной продукцией.

Пользователи и производители топливно-энергетических ресурсов являются субъектами отношений в сфере энергосбережения. Все виды дея-

тельности, которые они осуществляют, от добычи энергоресурсов до внедрения систем управления энергосбережением и средств контроля за использованием ТЭР, сформулированы в *статье 3*.

Закон определяет основные направления международного сотрудничества в сфере энергосбережения (*статья 4*):

- взаимовыгодный обмен с международными организациями энергоэффективными технологиями;
- участие Республики Беларусь в реализации международных проектов в области энергосбережения;
- приведение показателей энергоэффективности в соответствие с требованиями международных стандартов.

Глава 2 закона посвящена основам государственного управления в сфере энергосбережения. Закон устанавливает следующие основные *принципы* государственного управления:

- надзор за рациональным использованием ТЭР;
- разработка государственных, межгосударственных научно-технических, республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения, создание финансово-экономических механизмов их реализации;
- повышение уровня самообеспечения республики местными ТЭР;
- создание и широкое распространение экологически чистых и безопасных энергетических технологий;
- информационное обеспечение деятельности по энергосбережению и пропаганда передового отечественного и зарубежного опыта в этой области;
- обучение производственного персонала и населения методам экономии тепла и энергии.

В соответствии с законом государственное управление в сфере энергосбережения осуществляет Правительство и уполномоченный им республиканский орган, которым в настоящее время является Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь (КЭСМ).

Основными *задачами* КЭСМ являются:

- проведение государственной политики в сфере энергосбережения;
- осуществление государственного надзора за рациональным использованием топлива, электрической и тепловой энергии предприятиями.

Председатель КЭСМ по должности является одновременно Главным государственным инспектором республики по рациональному использованию ТЭР.

Элементами механизма государственного управления являются:

- обязательный учет всего объема добываемых, производимых, перерабатываемых, транспортируемых и потребляемых ТЭР (*статья 7*);
- нормирование расхода топлива и энергии (*статья 10*);
- стандартизация и сертификация в сфере энергосбережения (*статья 11*);
- государственный надзор за рациональным использованием ТЭР (*статья 12*);
- государственная экспертиза энергетической эффективности проектных решений (*статья 13*);
- энергетическое обследование предприятий, учреждений и организаций (*статья 14*);
- статистическое наблюдение за эффективным использованием ТЭР (*статья 15*).

Закон предусматривает разработку республиканских, отраслевых и региональных программ по энергосбережению (*статья 8*), образование и подготовку кадров для сферы энергосбережения (*статья 16*).

Статьей 17 предусмотрено информационное обеспечение деятельности по энергосбережению, которое осуществляется следующими методами:

- широкое обсуждение республиканских и региональных программ энергосбережения;
- создание специальных энергоэффективных зон;
- организация выставок энергоэффективных технологий и оборудования;
- предоставление пользователям и производителям ТЭР информации по вопросам энергосбережения;
- пропаганда эффективного использования ТЭР через средства массовой информации.

В *главе 3* закона установлены экономические и финансовые механизмы энергосбережения (*статья 18*) и, в частности, Республиканский фонд «Энергосбережение», который образуется за счет поступлений в виде:

- платежей за перерасход топлива, электрической и тепловой энергии сверх установленных норм потребления ТЭР;
- экономических санкций за: несвоевременную установку приборов учета расхода ТЭР; использование топлива и энергии без утвержденных в установленном порядке норм их расхода; нарушение правил пользования электрической и тепловой энергией;

- добровольных взносов юридических и физических лиц;
- других платежей в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

Закон устанавливает следующие средства экономического стимулирования (*статья 20*):

- пользователям и производителям ТЭР, осуществляющим мероприятия по энергосбережению, могут предоставляться льготы в виде субсидий, дотаций;
- если объекты малой и нетрадиционной энергетики подключаются к сетям энергосистемы республики, то оплата поставляемой этими объектами энергии осуществляется по тарифам, стимулирующим создание таких объектов;
- в целях стимулирования рационального использования ТЭР осуществляется установление сезонных цен на природный газ, сезонных тарифов на электрическую и тепловую энергию, дифференцированных по времени суток и дням недели тарифов на эти виды энергии.

Глава 4 закона (*статья 21*) устанавливает ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении.

Кроме того, Президентом Республики Беларусь 31 декабря 1995 г. подписан Закон «О внесении дополнений и изменений в Кодекс Республики Беларусь об административных правонарушениях», который устанавливает ответственность за нарушение правил, регламентирующих рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ст. 91) и за нерациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ст. 92). Эти статьи предусматривают наложение штрафов на должностных лиц, допустивших указанные нарушения, в размере от трех до пятнадцати и от трех до двадцати минимальных заработных плат соответственно.

Во исполнение Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении», для реализации государственной политики энергосбережения был принят целый ряд *нормативных документов* (постановлений и положений).

Программы энергосбережения определяют приоритеты в реализации государственной политики в области энергосбережения, пути использования энергосберегающего потенциала в республике и содержат комплекс мероприятий, взаимоувязанных по ресурсам, исполнителям, срокам реализации.

Определены следующие виды программ по энергосбережению:

- республиканская (на каждые 5 лет, начиная с 2001 г.);
- отраслевые долгосрочные (на каждые 5 лет, начиная с 2001 г.);
- отраслевые краткосрочные (на каждый год);
- региональные (на каждый год);
- на крупных предприятиях с потреблением ТЭР 25 тыс. т у.т. в год и выше (на каждый год).

В числе основных задач программ – обеспечение в планируемый период снижения потребления ТЭР в отраслях и регионах по отношению к уровню их расходования за предшествующий период.

Государственным заказчиком республиканских программ является Комитет по энергоэффективности. Он же осуществляет организационное, методическое обеспечение и контроль их разработки и выполнения. Те же функции в отношении отраслевых программ выполняют республиканские органы государственного управления, в отношении региональных программ – облисполкомы и Минский горисполком.

Республиканская и долгосрочные отраслевые программы должны включать:

- анализ состояния и определение перспектив развития ТЭК;
- прогноз потребления ТЭР на рассматриваемую перспективу;
- анализ мировых тенденций в решении задач энергосбережения;
- определение резервов экономии ТЭР по отношению к уровню их потребления в предшествующем разработке программы году;
- обоснование наиболее важных направлений энергосбережения;
- оценку финансовых, материально-технических, трудовых ресурсов, требующихся для достижения целей программы, с определением источников их обеспечения;
- механизм реализации программы;
- ожидаемые конечные результаты и оценку их экономической эффективности.

Краткосрочные отраслевые и региональные программы должны включать:

- основные направления энергосбережения, обеспечивающие выполнение установленных заданий по снижению потребления ТЭР;
- перечень мероприятий по реализации основных направлений энергосбережения с указанием ожидаемых конечных результатов и их экономической эффективности, планируемых затрат и источников финанси-

рования, исполнителей мероприятий программы и сроков выполнения этих мероприятий;

- мероприятия по энергосбережению, актуальные для отрасли или региона на ближайший период, с указанием мер по их реализации.

Основными этапами разработки программ энергосбережения являются:

- 1) определение приоритетов в энергосбережении в отрасли или регионе;
- 2) формирование пакета заявок предприятий, организаций, учреждений; отбор согласно приоритетам для включения в программы;
- 3) анализ технико-экономических обоснований заявок;
- 4) взаимоувязка республиканских, отраслевых, региональных программ по направлениям и объемам финансирования;
- 5) определение экономического эффекта, ожидаемого от реализации программ, их доработка;
- 6) согласование и утверждение программ.

В разработке программ участвуют компетентные организации и учреждения, ведущие ученые и специалисты. О ходе выполнения программ энергосбережения Комитет по энергоэффективности в установленном порядке информирует Совет Министров Республики Беларусь и Министерство экономики.

Контрольные вопросы

1. Каким образом осуществляется правовое регулирование энергосбережения в Беларуси?
2. Какова структура закона Республики Беларусь «Об энергосбережении»?
3. Каковы основные принципы и элементы механизма государственного управления в сфере энергосбережения?
4. Каким образом формируется Республиканский фонд «Энергосбережение»?
5. Какие методы экономического стимулирования энергосбережения предусмотрены в законодательстве Беларуси?
6. Каково назначение программ энергосбережения? Какие виды программ вы знаете?

Тема 13

ИНФОРМАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Одним из важнейших факторов в области энергосбережения является информированность специалистов и широких кругов населения о методах и способах эффективного использования энергии.

В Законе Республики Беларусь «Об энергосбережении» записано, что одним из основных принципов государственного управления в сфере энергосбережения является *информационное обеспечение деятельности по энергосбережению и пропаганда передового отечественного и зарубежного опыта в этой области.*

В средствах массовой информации имеются публикации, транслируются передачи, показывающие необходимость и методы эффективного использования энергии. Для широкой аудитории специалистов, научных и инженерно-технических работников, служащих, студентов и других категорий населения, в сферу деятельности которых входит производство или потребление энергии, предназначены издаваемые в Республике Беларусь журналы «Энергоэффективность», «Энергия и менеджмент». Создан учебный центр при ГП «Белэнергосбережение». В высших и средних специальных учебных заведениях введено преподавание дисциплин «Основы энергосбережения», «Энергосбережение и энергетический менеджмент». Больше внимания стало уделяться энергосбережению и в рамках других общеобразовательных и специальных технических дисциплин. Готовятся специалисты по специальности «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент», которым присваивается квалификация инженер-энергомеджер.

Однако еще не все возможности в области информационного обеспечения энергосбережения исчерпаны. Не налажена консультационная деятельность, мало используются современные информационные технологии. В то же время эти информационные средства за рубежом оказывают сильное влияние на рациональное и экономное использование энергетических ресурсов.

Непосредственно к вопросу информационного обеспечения примыкает проблема подготовки кадров (рис. 13.1). Республиканская программа энергосбережения предусматривает:

- развитие непрерывной многоуровневой системы образования в области энергосбережения;

- широкое использование республиканской информационно-аналитической системы (РИАС) «Энергосбережение» для оперативного получения информации, ее анализа, пропаганды и рекламы новых технологий и оборудования;
- создание единой республиканской высококачественной интеллектуальной системы рекламы, ориентированной на существующую структуру общества.

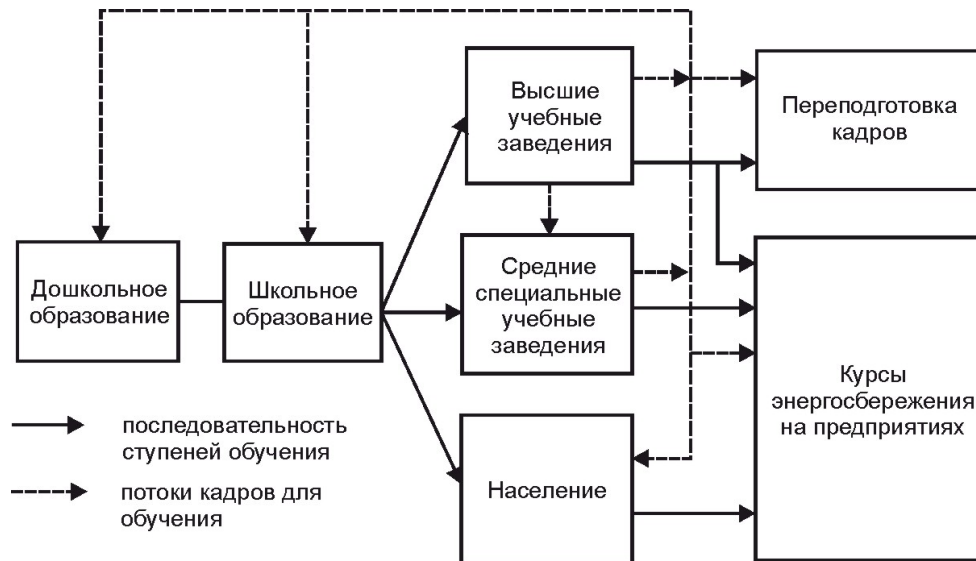


Рис. 13.1. Структура многоступенчатого обучения и переподготовки кадров в области энергосбережения

Образовательная и информационная деятельность тесно связана с консультационной. За рубежом это направление называется консалтингом в области энергии. Оно охватывает потребителей энергии и специалистов и заключается в предоставлении услуг в виде квалифицированной помощи в области экономии энергии.

Консультационная деятельность тесно связана с информационной деятельностью в области энергосбережения.

В качестве консультантов в консалтинговых фирмах работают специалисты с инженерным образованием и практическим опытом работы. Предварительно они проходят переподготовку с получением права на проведение консультационной деятельности.

Консультирование охватывает следующие основные направления:

- сбережение энергии в существующих зданиях;
- модернизация и эксплуатация крупных тепловых пунктов и систем централизованного теплоснабжения;

- вопросы экономии энергии в промышленности и общественных зданиях;
- энергетический менеджмент по вопросам отопления, использования электроэнергии и питьевой воды в крупных зданиях.

Сейчас важно иметь средства для быстрого нахождения необходимой информации. Это могут обеспечить современные информационные технологии. В настоящее время в Беларуси внедряется созданная в 1997 – 2000 гг. республиканская информационно-аналитическая система (РИАС) «Энергосбережение».

РИАС «Энергосбережение» предназначена для информационно-аналитической поддержки принятия решений по вопросам энергосбережения как в целом по республике, так и на уровне отдельных отраслей, регионов, предприятий и организаций.

РИАС «Энергосбережение» предназначена для выполнения следующих основных функций:

- обеспечение взаимодействия с источниками директивной и правовой информации в Беларуси;
- ведение базы данных официальных документов России, СНГ, Европейского Союза, специализированных международных организаций;
- публикация сведений о проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах;
- представление информации о патентах и изобретениях в области энергосбережения;
- размещение рекламной и адресно-справочной информации о внедренческих фирмах и организациях;
- предоставление возможности работы с системой практически всему имеющемуся у пользователей парку персональных ЭВМ независимо от располагаемой мощности компьютеров.

Система РИАС «Энергосбережение» ориентирована на использование Internet-технологий и включает три мощных сервера:

- информационный (Web-сервер), содержащий тексты исходных страниц и осуществляющий связь с базами данных (BD);
- сервер BD, структурировано хранящий содержательную часть РИАС;
- коммуникационный, обеспечивающий связь системы с абонентами в соответствии с назначенными условиями доступа.

По ряду вопросов более детальную информацию могут дать ведомственные специализированные информационные системы. Примером по-

добной системы может служить разработанная Институтом проблем энергетики НАН Беларуси с участием коллектива кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники Белорусского государственного технологического университета база данных «Энергоэффективное оборудование и технологии».

В разработанной базе данных можно найти реферативное описание оборудования и технологий, в том числе с представлением информации в графическом виде, а также сведения об их разработчике или производителе. Хранящаяся информация делится на постоянную и текущую. Постоянная информация имеет ссылки на публикации в виде монографий, статей, каталогов и т.п., которые можно отыскать в фондах библиотек или организаций. Текущая информация имеет ссылки на рекламные издания: проспекты, буклеты, рекламные листки. Эта информация имеет, в основном, коммерческий характер, и ее ценность заключается, прежде всего, в ее оперативности. Она рассчитана на сбыт готовой продукции, и используемые источники информации не являются подтверждением ее полной достоверности.

Информационная система «Энергоэффективное оборудование и технологии» предназначена для организации поиска и получения необходимой информации по проблеме энергосбережения с минимальными затратами времени.

Обширную информацию по энергосбережению можно найти на сайтах Интернета. Например, сайт www.energocentre.com поддерживается Белорусской ассоциацией промышленных энергетиков; сайт www.cenef.kiev.ua Государственного комитета Украины по энергосбережению; англоязычный сайт www.ase.org Ассоциации энергосбережения (США).

Перечисленные сайты позволяют ознакомиться с новостями, методами обучения, некоторыми электронными публикациями, нормативами и другой полезной информацией в области эффективного и рационального использования энергии.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему структуры многоступенчатого обучения и переподготовки кадров области энергосбережения.
2. Какие информационные системы в области энергосбережения вы знаете? Каков принцип их функционирования?
3. Какие вопросы информационного обеспечения предусматривает Республиканская программа энергосбережения?

Тема 14

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Состояние экономики любых государств и жизненный уровень населения во многом определяются наличием запасов топливно-энергетических ресурсов и эффективностью их использования. Для государств, экономика которых базируется преимущественно на импорте энергоресурсов, что в полной мере относится и к Республике Беларусь, именно эффективность использования является одним из определяющих факторов производства конкурентоспособной продукции.

Остановимся на опыте зарубежных стран в сфере управления энергосбережением и применения рациональных технологий использования энергии.

В странах Юго-Восточной Азии (Корея, Сингапур, Гонконг и Тайвань) значительная часть энергосберегающих мероприятий финансируется самим государством, которое чаще всего само устанавливает энергетическое оборудование, соответствующее непромышленной сфере, выделяет владельцам жилых домов целевые беспроцентные ссуды на перестройку зданий и приобретение материалов в соответствии с существующими стандартами и рекомендациями специалистов.

Правительство Тайваня предоставляет промышленным предприятиям низкопроцентные кредиты на приобретение энергосберегающего оборудования внутри страны и за рубежом.

В большинстве промышленно развитых стран мира (США, Германия, Япония, Франция, Испания, Англия и др.) существуют национальные программы развития нетрадиционной энергетики, предусматривающие в течение 5 – 10 предстоящих лет значительное расширение использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии: до 2 – 5 % (Дания, Голландия, США) и до 10 – 15 % (Австралия, Канада) общего потребления.

Наибольший интерес и распространение имеют установки, использующие солнечную энергию, энергию ветра и биомассы. В Израиле в соответствии с законом, требующим, чтобы каждый дом был снабжен солнечной водонагревательной установкой, установлено около 800 тыс. солнечных установок, производящих 15 млн ГДж энергии и обеспечивающих 70 % потребности в горячей воде.

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) достигли сегодня уровня коммерческой зрелости и в местах с благоприятными скоростями ветра могут конкурировать с традиционными источниками энергии. Так, в США уста-

новлено более 1,5 млн кВт ВЭУ, в Дании ВЭУ производят около 3 % потребляемой страной энергии, велики мощности установленных ВЭУ в Швеции, Голландии и Германии.

В последнее время повысилось внимание к использованию биомассы в энергетических целях. Это вызвано тем, что использование растительной биомассы не приводит к увеличению концентрации CO_2 в атмосфере.

14.1. Опыт энергосберегающей политики в США

Политика энергосбережения в различных ее формах стала проводиться в США примерно с середины 70-х годов. За первые 10 лет ее осуществления затраты на энергию были снижены более чем на 200 млрд долларов. В 1974 – 1986 гг. энергоемкость промышленности США ежегодно снижалась на 3,7 %, а в дальнейшем темп снижения составил около 1,2 % в год.

В США в летний период максимальные нагрузки в электросетях часто в 2 – 3 раза превышают нагрузки в ночное время и достигают 500 кВт. При этом треть этих нагрузок связана с работой системы кондиционирования воздуха. Поэтому в дневное время в часы пик тарифы на электроэнергию повышены, а в остальное время – льготные. Сложившаяся система тарифов включает дифференцированные тарифы, размеры которых возрастают при увеличении электропотребления; сниженные тарифы устанавливаются для жильцов зданий, выполняющих определенные мероприятия по энергосбережению; более высокие тарифы взимаются по более высокой ставке на весь период повышенного спроса. Некоторые коммунальные предприятия устанавливают для покупателей специальные энергосберегающие тарифы в тех случаях, когда они приобретают новые дома с хорошей теплоизоляцией и эффективными системами энергоотопления. В этом случае ставка тарифа снижается на 12 – 14 %. Практикуется система, при которой клиенты обязуются поддерживать потребление электроэнергии на более низких условиях в обмен на сниженные тарифы. При этом достигается экономия пикового спроса в среднем 1,3 кВт на клиента в доме.

В настоящее время разработаны и в ближайшие 10 лет получат распространение недорогие счетчики электроэнергии с микропроцессорами, которые позволят распространить дифференцированный тариф на израсходованную электроэнергию на всех потребителей (до недавнего времени он распространялся только на крупных потребителей – мощностью свыше 500 кВт).

14.2. Энергосбережение в промышленности Японии

Япония твердо стоит на позиции государственного регулирования энергосбережения. Поэтому используемые ею стимулы представляют интерес для Беларуси.

Японский закон «Об энергосбережении» предписывает правительству применять финансовые и налоговые меры для стимулирования рационального использования энергии. Закон учреждает приоритетность инвестиций в энергосбережение в сравнении с капитальными вложениями в другое оборудование.

Если предприниматель в Японии собирается внедрять энергосберегающее оборудование, у него есть возможность получения займа на благоприятный срок в одном из банков, капитал которого полностью принадлежит правительству (перечень таких банков приведен в приложении к закону). На строительство дома японцы могут взять ссуду в Жилищной кредитной корпорации, которая также является банковским учреждением, чей капитал полностью принадлежит японскому правительству. В том случае, если дом обеспечивается элементами энергосбережения (например, дополнительной теплоизоляцией), верхний предел ссуды может быть поднят.

Не менее весомы и налоговые льготы. Если корпоративный или индивидуальный предприниматель приобретает энергосберегающее оборудование или использует его для дела в пределах одного года после приобретения, то он может претендовать:

- на меру, при которой его общий налог или налог на прибыль уменьшается на 7 % от стоимости приобретенного оборудования (скидка может составить вплоть до 20 %);
- меру, при которой специальная скидка, равная 30 % от стоимости оборудования, применяется в дополнение к обычной скидке в первый год.

Перечень оборудования, на которое эти меры распространяется, включает 81 наименование.

В Японии предпринимаются меры по информированию населения об энергосбережении, выпускаются брошюры и плакаты, проводятся симпозиумы и используются средства массовой информации. Устанавливаются «День энергосбережения», «Генеральная проверка энергосбережения» для обучения населения и повышения общественной активности.

Оборудование должно маркироваться таким образом, чтобы обычные покупатели могли выбрать наиболее экономичные модели.

На предприятиях Японии широко практикуется работа «кружков качества» – малых групп, объединяющих работников компании, которые са-

мостоятельно и при содействии руководящих работников разрабатывают и внедряют предложения по рационализации и совершенствованию труда на предприятии, в т.ч. по экономии энергии.

Эту работу инициирует и стимулирует руководство фирмы. Работа кружка может проводиться по-разному – в рабочее время (около 1 часа) и во внерабочее время, может поощряться материально или нет, но всегда поощряется морально. Деятельность «кружков качества» дает громадный материальный эффект.

Мощной движущей силой экономического развития Японии являются малые группы контроля качества (ГКК), которые привлекают к ее деятельности всех, в т.ч. рядовых сотрудников предприятия, т.е. тех, кто непосредственно занят в производственной сфере, кто реально использует энергию и реально участвует в выполнении энергосберегающих мероприятий. Обычно ГКК насчитывают 5 – 10 высококвалифицированных специалистов, осуществляющих постоянный самоконтроль и повышающих качество своей работы.

Основные принципы деятельности ГКК:

- полное раскрытие потенциала каждого человека и, в конечном счете, развитие потенциала группы;
- улучшение условий труда так, чтобы работа становилась приятной, жизненно важной и приносящей удовлетворение;
- внесение вклада в улучшение и развитие предприятия.

14.3. Повышение эффективности использования энергии в промышленности Дании

Отличительной особенностью датской электроэнергетики является специфическая форма собственности и структура энергокомпаний. Владельцами энергокомпаний являются потребители. Каждый потребитель с момента подключения к сети становится акционером распределительной компании и имеет право избирать своих представителей в ее Генеральное собрание, которое в свою очередь избирает Правление.

Если компания получает прибыль, то потребитель получает дивиденды в форме снижения цены на энергию на следующий год.

Стоимость электроэнергии в быту в Дании в 2,8 раза выше, чем в промышленности, ее цена дифференцирована по времени суток.

В Дании, как и в ряде других стран Европы, действуют государственные консалтинговые организации, работающие в области энергетики и энергосбережения. Основными организациями в этой сфере являются:

а) тепловая инспекция, которая проводит техническое обследование зданий на предмет соответствия энергетическим стандартам. Обследование проводится в зданиях, построенных до 1979 г. (до введения действующих ныне строительных норм). Около 50 % домов в Дании прошли такое обследование;

б) инспекция котлов, работающих на мазуте. Обследование включает в себя измерение потерь тепла с дымовыми газами. Считается, что за 12 лет своего существования инспекция способствовала экономии 4 % энергоносителей в масштабах всей Дании;

в) служба консультаций по системам теплоснабжения, занимающаяся проверкой квалификации и консультированием эксплуатационного персонала теплоснабляющих систем большой мощности, работающих как на мазуте, так и на газе, а также систем централизованного теплоснабжения. В результате деятельности службы за 12 лет потребление нефти в Дании снизилось на 19 %, газа – на 10 %, расход топлива в системах теплоснабжения – на 2 %.

14.4. Общие мероприятия энергосбережения в странах Западной Европы

Некоторые страны ввели обязательное требование назначения менеджера по энергетике, разрабатывающего годовые планы по повышению энергоэффективности и несущего личную ответственность за их выполнение. Безусловно, это касается крупных пользователей энергии. Выполнение этого требования открывает компании доступ к правительственным субсидиям на энергосбережение (как, например, в Италии).

Там, где существует субсидирование энергосберегающих мероприятий, условия его получения установлены законодательно и зафиксированы в Законодательном акте для дотаций. Такие акты имеются в законодательстве 10 стран – членов ЕС.

В ряде стран принят закон о налоговых льготах (стимулах). Он позволяет делать налоговые скидки на расходы по приобретению энергосберегающего оборудования или услуг, ведущих к снижению потребления ТЭР. Данный закон часто применяют и для компенсации налогов отдельных граждан или коллективов. Некоторые программы предлагают компаниям выбор: платить налог за потребляемую энергию или произвести инвестиции в повышение энергоэффективности собственного производства.

В таких странах, как Бельгия, Дания, Франция, создан так называемый Возобновляемый фонд, представляющий собой государственный

фонд по выдаче займов для инвестирования в энергосберегающие мероприятия. Возвращаемые средства пополняют фонд, делая его постоянно действующим и хозрасчетным. Как правило, установленная фондом процентная ставка ниже, чем при обычных коммерческих условиях, что равносильно льготному кредиту.

14.5. Законодательный опыт Российской Федерации в области энергосбережения

В Российской Федерации принят федеральный закон «Об энергосбережении». Данный закон регулирует отношения, возникающие в процессе деятельности в области энергосбережения, в целях создания экономических и организационных условий для эффективного использования энергетических ресурсов.

В государственные стандарты на энергопотребляющую продукцию включаются показатели ее энергоэффективности в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

При добыче, производстве, переработке, транспортировке, хранении и потреблении энергетических ресурсов показатели их эффективного использования, а также показатели расхода энергии на обогрев, вентиляцию, горячее водоснабжение и освещение зданий, иные показатели энергопотребления производственных процессов в установленном порядке включаются в соответствующую нормативно-техническую документацию.

Энергопотребляющая продукция любого назначения, а также энергетические ресурсы подлежат обязательной сертификации на соответствующие показатели энергоэффективности.

В целях стимулирования эффективного использования энергетических ресурсов осуществляется установление сезонных цен на природный газ и сезонных тарифов на электрическую и тепловую энергию, а также внутрисуточных дифференцированных тарифов на электрическую энергию.

Информационное обеспечение энергосбережения осуществляется путем:

- обсуждения федеральных и межрегиональных программ в области энергосбережения;
- организации выставок энергоэффективного оборудования и технологий;
- пропаганды эффективного использования энергетических ресурсов.

Международное сотрудничество Российской Федерации в области энергосбережения осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Основными направлениями международного сотрудничества в области энергосбережения являются:

- взаимовыгодный обмен энергоэффективными технологиями с иностранными и международными организациями;
- участие Российской Федерации, российских организаций в международных проектах в области энергосбережения;
- согласование показателей энергоэффективности, предусмотренных государственными стандартами Российской Федерации, с требованиями международных стандартов, а также взаимное признание результатов сертификации.

Контрольные вопросы

1. Какие методы стимулирования энергосбережения используются за рубежом?
2. Каков опыт энергосберегающей политики в США?
3. Какую функцию выполняют «кружки качества» и малые группы контроля качества в Японии?
4. Какие методы повышения эффективности использования энергии в промышленности применяются в Дании?
5. Каков законодательный опыт Российской Федерации в области энергосбережения?

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практическое занятие № 1

ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Ключевые слова: тепловые электростанции, конденсационные электростанции, атомные электростанции, ядерный реактор на тепловых нейтронах, газотурбинные и парогазовые установки, гидроэлектростанции.

1. Тепловые электростанции, принцип их работы.
2. Принципиальные схемы и работа конденсационной электростанции и теплоэлектростанции.
3. Принципиальная схема и работа атомной электростанции.
4. Схема устройства ядерного реактора на тепловых нейтронах и принцип его работы.
5. Принципиальная схема и работа газотурбинной установки.
6. Принципиальная схема и работа парогазовой установки.
7. Принципиальная схема и работа гидроэлектростанции.
8. Принцип работы и устройство гидроаккумулирующей электростанции.

Практическое занятие № 2

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

Ключевые слова: энергия ветра, ветроэнергетические установки, ветроколесо, подъемная сила, сила лобового сопротивления, ометаемая площадь, площадь лобового сопротивления, коэффициент мощности.

Цель работы: изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию, устройство ветроколеса и определение коэффициента мощности ветроэнергетической установки.

Общие сведения

Ветер представляет собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температуры в атмосфере из-за неравномерного нагрева ее Солнцем. Таким образом, энергия ветра является преобразованной в механическую энергией Солнца.

Устройства, преобразующие энергию ветра в полезную механическую, электрическую или тепловую энергии, называются *ветроэнергетическими установками* (ВЭУ).

Энергия ветра в механических установках, например, на мельницах и в водяных насосах, используется уже несколько столетий. После резкого скачка цен на нефть в 1973 г. интерес к таким установкам резко возрос. Большая часть существующих ветроустановок построена в конце 70-х – начале 80-х годов на современном техническом уровне при широком использовании последних достижений аэродинамики, механики, микроэлектроники для контроля и управления ими.

Белорусская энергетическая программа основными направлениями использования ветроэнергетических ресурсов на ближайший период предусматривает их применение для привода насосных установок и в качестве источников энергии для электродвигателей автономного обеспечения. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями к качеству электрической энергии, что позволяет резко упростить и удешевить ветроэнергетические установки.

При правильной организации использования ветроэнергетики такой дешевый и неиссякаемый источник энергии, как ветер, может удовлетворить большую часть потребностей в любой отрасли народного хозяйства. Установки, преобразующие энергию ветра в электрическую, тепловую и механическую, могут обеспечить:

- автономное энергоснабжение различных локальных объектов (оросительные системы, механизмы животноводческих ферм, вентиляцию, устройства микроклимата и т.п.);
- горячее водоснабжение, отопление, энергообеспечение холодильных агрегатов;
- подъем воды для садовых участков, на пастбищах и т.п.;
- откачку воды из систем вертикального и горизонтального дренажа и прочих систем.

По сравнению с другими видами источников энергии ветроэнергетические установки имеют следующие преимущества:

- отсутствие затрат на добычу и транспортировку топлива;
- снижение более чем в 10 раз трудозатрат на сооружение ветроэнергетической установки по сравнению со строительством тепловых или атомных станций;
- широкий технологический диапазон прямого использования энергии ветроустановок (автономность или совместная работа с централизо-

ванными сетями, совместимость с другими источниками возобновляемой энергетики и т.п.);

- минимальные сроки ввода мощностей в эксплуатацию;
- улучшение экологической обстановки за счет снижения уровня загрязнения окружающей среды.

Принцип действия и классификация ВЭУ

В ветроэнергетических установках энергия ветра преобразуется в механическую энергию их рабочих органов. Первичным и основным рабочим органом ВЭУ, непосредственно принимающим на себя энергию ветра и, как правило, преобразующим ее в кинетическую энергию своего вращения, является *ветроколесо*.

Вращение ветроколеса под действием ветра обуславливается тем, что в принципе на любое тело, обтекаемое потоком газа со скоростью u_0 , действует сила F , которую можно разложить на две составляющие: вдоль скорости набегающего потока, называемую силой лобового сопротивления F_c , и в направлении, перпендикулярном скорости набегающего потока, называемую подъемной силой F_n (рис. 1).

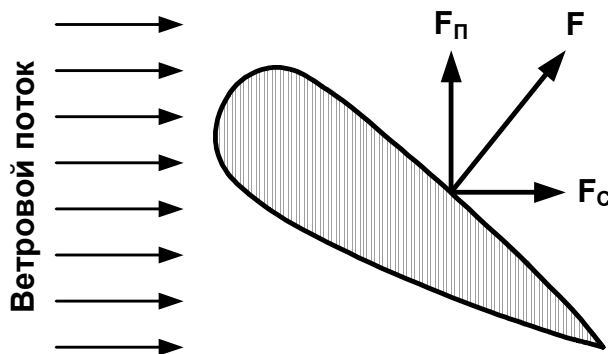


Рис. 1. Силы, действующие на тело, обтекаемое потоком газа

Величины этих сил зависят от формы тела, ориентации его в потоке газа и от скорости газа. Действием этих сил рабочий орган ветроустановки (ветроколесо) приводится во вращение.

Ветроустановки классифицируются по двум основным признакам: геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра.

Если ось вращения ветроколеса параллельна воздушному потоку, то установка называется горизонтально-осевой, если перпендикулярна – вертикально-осевой.

Ветроколеса с горизонтальной осью вращения, использующие подъемную силу (двух- или трехлопастное ветроколесо), показаны на рис. 2, а – г. Эти установки имеют линейную скорость концов лопастей существенно превышающую скорость ветра.

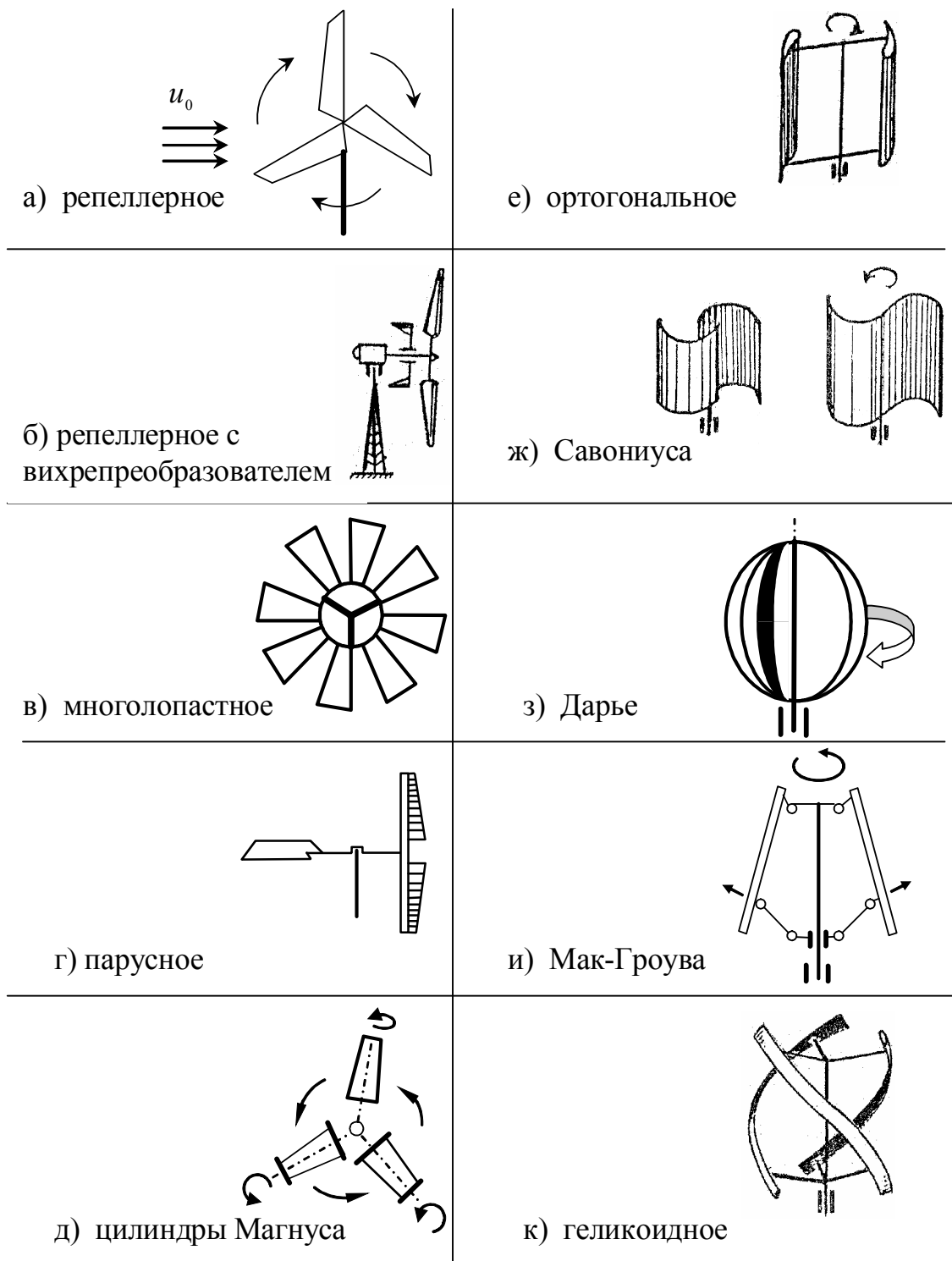


Рис. 2. Типы ветроколес

Ветроустановки, использующие силу лобового сопротивления, состоят из укрепленных вертикально оси лопастей различной конфигурации (рис. 2, е – к). Они, как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра.

На рис. 2, д представлено ветроколесо, использующее эффект Магнуса (эффект возникновения подъемной силы, перпендикулярной направлению ветра, при вращении цилиндра или конуса).

Каждое ветроколесо характеризуется:

- *ометаемой площадью S* , т.е. площадью, покрываемой его лопастями при вращении, и равной (для горизонтально-осевых ветроколес) $S = \pi \cdot D^2 / 4$, где D – диаметр ветроколеса, либо *площадью лобового сопротивления* (для вертикально-осевых ветроколес) $S = h \cdot b$, где h и b – соответственно высота ротора и его средний диаметр;

- *геометрическим заполнением*, равным отношению площади проекции лопастей на плоскость, перпендикулярную потоку, к ометаемой площади (так, например, при одинаковых лопастях четырехлопастное колесо имеет вдвое большее геометрическое заполнение, чем двухлопастное);

- *коэффициентом мощности c_N* , характеризующим эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и зависящим от конструкции ветроколеса;

- *коэффициентом быстроходности Z* , представляющим собой отношение скорости конца лопасти к скорости ветра.

ВЭУ с большим геометрическим заполнением ветроколеса развивают значительную мощность при относительно слабом ветре и максимум мощности достигается при небольших оборотах колеса. ВЭУ с малым заполнением достигают максимальной мощности при больших оборотах и дольше выходят на этот режим. Поэтому первые используются, например, в водяных насосах и даже при слабом ветре сохраняют работоспособность, а вторые – в качестве электрогенераторов, где требуется высокая частота вращения.

Экспериментальная установка

Работа выполняется на аэродинамической трубе 1 (рис. 3). В трубе воздушный поток создается осевым вентилятором (на рисунке не показан). Величина скорости потока в трубе регулируется изменением тока питания вентилятора. Скорость воздушного потока в рабочей области трубы определяется с помощью трубки Пито – Прандтля 2 и микроманометра 3. В ра-

бочую зону трубы 1 установлено ветроколесо 4 с электрическим генератором 5. К генератору подключена нагрузка 6. В цепь нагрузки подключены также вольтметр 7 и амперметр 8.

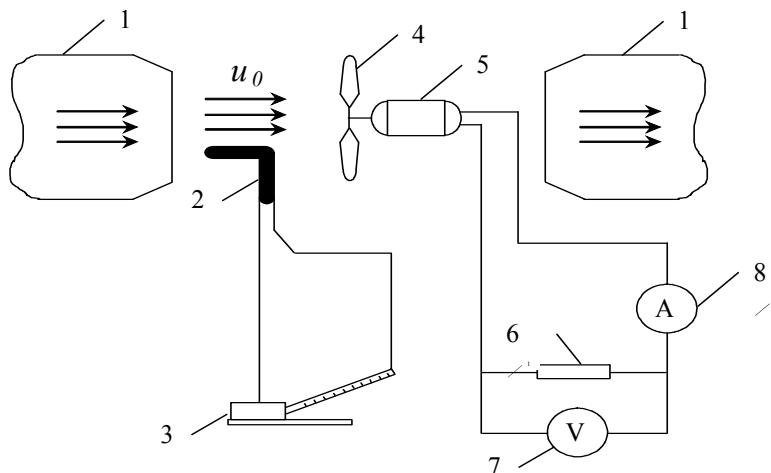


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с разными типами ветроколес.
2. Установить репеллерное ветроколесо.
3. Включить блок питания аэродинамической трубы. Установить необходимое значение скорости воздушного потока в рабочей зоне путем изменения тока питания вентилятора.
4. С помощью трубки Пито – Прандтля измерить значение скорости воздушного потока u_0 . Для этого необходимо снять показания микроманометра 3. Данные записать в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений и вычислений

Тип ветроколеса	№ опыта	Показания микроманометра $l - l_0, \text{ м}$	$u_0, \text{ м/с}$	Параметры генератора ветроустановки			c_N
				$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$N, \text{ Вт}$	
Репеллерное	1						
	2						
	3						
	4						
Савониуса	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

5. Измерить напряжение U , создаваемое электрическим генератором, и ток I в нагрузке 6.

6. Изменить величину скорости воздушного потока в аэродинамической трубе. Произвести все вышеперечисленные измерения.

7. Заменить репеллерное ветроколесо на ветроколесо Савониуса, выполнить измерения, описанные в пп. 3 – 6.

Обработка экспериментальных данных

1. Вычислить скорость потока воздуха u_0 по формуле

$$u_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot K \cdot (l - l_0) \cdot \frac{\rho_{жс}}{\rho_в}},$$

где $\rho_{жс}$ – плотность спирта в микроманометре ($\rho_{жс} = 809,5 \text{ кг/м}^3$);

$\rho_в$ – плотность воздуха ($\rho_в = 1,2 \text{ кг/м}^3$);

$l - l_0$ – разность показаний микроманометра, м;

K – синус угла наклона трубки микроманометра ($K = 0,2$).

2. Вычислить электрическую мощность генератора $N = U \cdot I$.

3. Определить ометаемую площадь для репеллерного ветроколеса по формуле $S = \pi \cdot D^2 / 4$, где D – диаметр ветроколеса ($D = 0,17 \text{ м}$).

Площадь лобового сопротивления для ветроколеса Савониуса $S = h \cdot b = 0,012 \text{ м}^2$.

4. Определить коэффициент мощности ветроколеса

$$c_N = 2 \cdot N / (S \cdot \rho_в \cdot u_0^3).$$

5. Сравнить коэффициенты мощности различных типов ветроколес при разных скоростях воздушного потока. Провести анализ полученных результатов и построить графики зависимости c_N от u_0 .

6. Исходные данные, необходимые для расчета коэффициента мощности различных типов ветроколес, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для расчета

Параметры	№ варианта	Тип ветроколеса								
		репеллерное				Савониуса				
		1	2	3	4	1	2	3	4	5
Показания микроманометра $l - l_0$, мм	I	8	15	20	25	5	10	13	19	25
	II	9	14	21	26	6	11	14	18	26
	III	10	15	22	27	7	10	15	20	27
	IV	9	14,5	21	28	6	12	14,5	19	28
	V	10	16	23	29	8	13	16	22	29

Окончание табл.

Параметры генератора ветроколеса	U , В	I	4,10	9,50	12,2	19,5	3,4	7,1	8,1	10,8	12,8
		II	4,20	10,0	12,6	20,0	3,6	7,6	8,5	11,0	13,1
		III	4,50	9,80	12,9	22,0	3,8	7,1	9,0	11,5	13,4
		IV	4,25	10,0	12,7	23,5	3,65	8,1	8,7	10,9	13,9
		V	4,52	11,0	17,0	25,0	4,1	8,2	9,5	12,1	14,5
	I , мА	I	9,5	20,0	26,0	41,5	7,5	15,5	17,5	23,0	27,5
		II	10,0	19,0	27,5	45,0	8,0	16,5	19,0	22,7	28,5
		III	11,0	20,5	30,5	47,5	9,0	16,0	19,5	23,0	29,5
		IV	10,0	20,0	27,5	53,0	8,5	17,0	20,0	23,5	30,5
		V	11,0	23,0	33,5	60,5	9,5	18,0	22,5	26,5	33,0

Практическое занятие № 3 ПРЯМОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Ключевые слова: солнечная энергия, поток излучения, плотность потока излучения, световой поток, освещенность, фотоэффект, солнечный элемент, модуль, батарея, люксметр, коэффициент преобразования, вольт-амперная характеристика.

Цель работы: изучить принцип преобразования солнечной энергии в электрическую. Исследовать основные технические характеристики солнечного модуля.

Общие сведения

Солнце является основным источником энергии, обеспечивающим существование жизни на Земле. Вследствие реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца достигаются температуры до 10^7 К. При этом поверхность Солнца имеет температуру около 6 000 К. Электромагнитным излучением солнечная энергия передается в космическом пространстве и достигает поверхности Земли. Вся поверхность Земли получает от Солнца мощность около $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт. Это эквивалентно тому, что менее одного часа получения этой энергии достаточно, чтобы удовлетворить энергетические нужды всего населения земного шара в течение года. Максимальная плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет примерно 1 кВт/м^2 . Для населенных районов в зависимости от места, времени суток и погоды потоки солнечной энергии меняются от 3 до 30 МДж/м^2 в день.

В среднем для создания комфортных условий жизни требуется примерно 2 кВт энергетической мощности на человека или примерно 170 МДж энергии в день. Если принять эффективность преобразования солнечной энергии в удобную для потребления форму 10 % и поток солнечной энергии 17 МДж/м² в день, то требуемую для одного человека энергию можно получить со 100 м² площади земной поверхности. При средней плотности населения в городах 500 человек на 1 км² на одного человека приходится 2 000 м² земной поверхности. Таким образом, достаточно всего 5 % этой площади, чтобы за счет снимаемой с нее солнечной энергии удовлетворить энергетические потребности человека.

Для характеристики солнечного излучения используются следующие основные величины.

Поток излучения – величина, равная энергии, переносимой электромагнитными волнами за одну секунду через произвольную поверхность. Единица измерения – Дж/с = Вт.

Плотность потока излучения (энергетическая освещенность) – величина, равная отношению потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Единица измерения – Вт/м².

Световым потоком называется поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. Человеческий глаз неодинаково чувствителен к потокам света с различными длинами волн. Обычно при дневном освещении глаз наиболее чувствителен к свету с длиной волны 555 нм. Поэтому одинаковые по мощности потоки излучения, но разных длин волн вызывают разные световые ощущения у человека. Единицей измерения светового потока с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен $4,6 \cdot 10^{-3}$ Вт (или $1 \text{ Вт} = 217 \text{ лм}$).

Освещенность – величина, равная отношению светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Освещенность измеряется в люксах (лк). $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$. Для белого света $1 \text{ лк} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$ (или $1 \text{ Вт/м}^2 = 217 \text{ лк}$).

Приборы, предназначенные для измерения освещенности, называются *люксметрами*.

В связи с большим потенциалом солнечной энергии чрезвычайно заманчивым является максимально возможное непосредственное использование ее для нужд людей.

При этом самым оптимальным представляется прямое преобразование солнечной энергии в наиболее распространенную в использовании электрическую энергию.

Это становится возможным при использовании такого физического явления как фотоэффект.

Фотоэффектом называется явление, связанное с освобождением электронов твердого тела (или жидкости) под действием электромагнитного излучения. Различают три вида фотоэффекта: внешний, внутренний и вентильный. Внешний фотоэффект заключается в испускании электронов с поверхности вещества, на которую падает свет. Внутренний фотоэффект связан с увеличением электрической проводимости вещества под действием света. Вентильный фотоэффект – возбуждение светом ЭДС на границе между металлом и полупроводником или между разнородными полупроводниками.

Наиболее распространенным полупроводником, используемым для создания солнечных элементов, является кремний.

Солнечные элементы характеризуются *коэффициентом преобразования* K_{ϕ} солнечной энергии в электрическую, который представляет собой отношение падающего на элемент потока излучения W к максимальной мощности N вырабатываемой им электрической энергии. Кремниевые солнечные элементы имеют коэффициент преобразования 10 – 15 %.

Структура солнечного элемента с *p-n* переходом представлена на рис. 4. и включает в себя: 1 – слой полупроводника (толщиной 0,2 – 1,0 мкм) с *n*-проводимостью; 2 – слой полупроводника (толщиной 250 – 400 мкм) с *p*-проводимостью; 3 – добавочный потенциальный барьер (толщиной 0,2 мкм); 4 – металлический контакт с тыльной стороны; 5 – соединительный проводник с лицевой поверхностью предыдущего элемента; 6 – противотражательное покрытие; 7 – лицевой контакт; 8 – соединительный проводник к тыльному контакту следующего элемента. Характерный размер солнечного элемента 10 см.

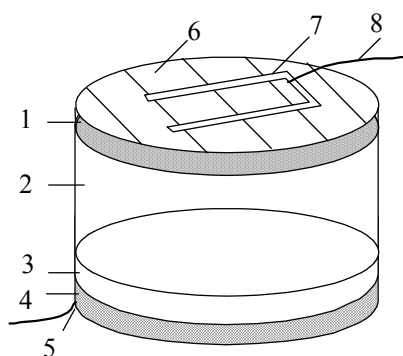


Рис. 4. Структура солнечного элемента

Солнечные элементы последовательно соединяются в солнечные модули, которые в свою очередь параллельно соединяются в солнечные батареи (рис. 5).

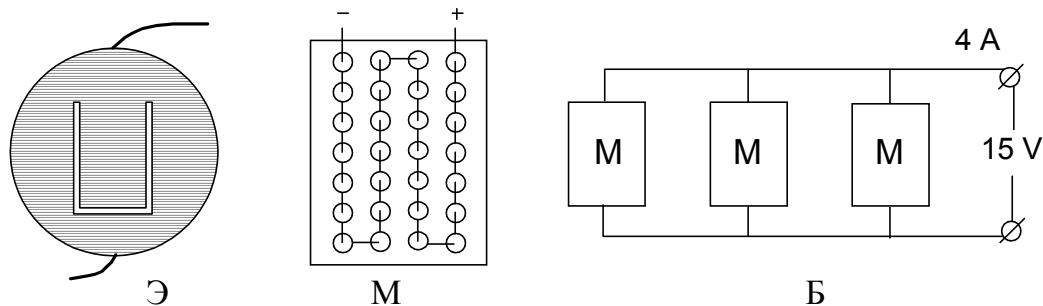


Рис. 5. Э – солнечный элемент; М – солнечный модуль; Б – солнечная батарея

В 1958 г. впервые солнечные батареи были использованы в США для энергообеспечения искусственного спутника Земли Vanguard 1. В последующем они стали неотъемлемой частью космических аппаратов.

Широко известны микрокалькуляторы, часы, радиоприемники и многие другие электронные аппараты, работающие на солнечных батареях.

Мировая продажа солнечных модулей составила по суммарной мощности 25 МВт в 1986 г. и около 60 МВт – в 1991 г.

Полная стоимость солнечных элементов с 1974 по 1984 гг. упала примерно со 100 до 4 дол. США на 1 Вт максимальной мощности. Предполагается снижение этой величины до 0,8 дол. США. Однако даже при полной стоимости солнечных элементов 4 дол. США на 1 Вт плюс вспомогательной аппаратуры 2 дол. США на 1 Вт при облученности местности 20 МДж/м² в день и долговечности солнечных батарей 20 лет стоимость вырабатываемой ими электроэнергии составляет примерно 16 центов США за 1 кВт·ч (4,4 цента за МДж). Это вполне конкурентоспособно с электроэнергией, вырабатываемой дизельными генераторами, особенно в отдаленных районах, где стоимость доставки топлива и обслуживания резко возрастает. Ожидается, что в ближайшие несколько лет солнечные батареи будут широко использоваться развивающимися странами в сельских местностях в осветительных системах и системах водоснабжения.

Основные компоненты солнечной энергетической установки изображены на рис. 6 и включают в себя: Б – солнечную батарею с приборами контроля и управления; А – аккумуляторную батарею; И – инвертор для преобразования постоянного тока солнечной батареи в переменный ток промышленных параметров, потребляемый большинством электрических устройств.

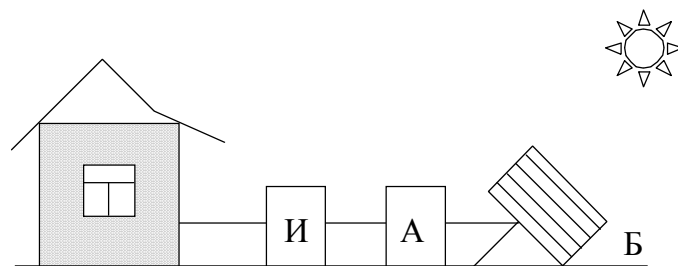


Рис. 6. Солнечная энергетическая установка

Несмотря на неравномерность суточного потока солнечного излучения и его отсутствие в ночное время аккумуляторная батарея, накапливая вырабатываемое солнечной батареей электричество, позволяет обеспечить непрерывную работу солнечной энергетической установки.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис. 7) включает: 1 – солнечный модуль, состоящий из 36-ти солнечных элементов; 2 – амперметр и 3 – вольтметр для определения напряжения и силы тока, вырабатываемых солнечным модулем; 4 – источник света, имитирующий солнечное излучение; 5 – люксметр для определения освещенности поверхности солнечного модуля; 6 – реостат, представляющий собой регулируемую нагрузку в электрической цепи.

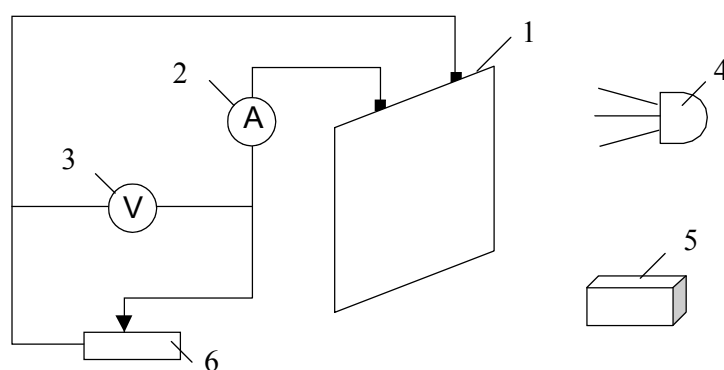


Рис. 7. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

а) Определение световой характеристики солнечного модуля.

1. Определение световой характеристики солнечного модуля производится следующим образом:

- устанавливается источник света на прямое излучение на поверхность солнечного модуля;
- люксметром производится измерение освещенности E_{cp} солнечного модуля;
- по показаниям вольтметра определяется ЭДС, вырабатываемая солнечным элементом;
- проводятся аналогичные измерения при косом падении излучения на поверхность модуля, поворачивая источник света на 10, 20, 30, 40, 50 градусов.

2. Исходные данные, необходимые для расчета световой характеристики солнечного модуля, приведены в табл. 4.

3. Вычислить плотность потока излучения W (энергетическую освещенность), используя соотношения между лк и Вт/м² для белого света, $W = 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot E_{cp}$.

4. Вычислить ЭДС, вырабатываемую одним солнечным элементом ЭДС-1, разделив ЭДС на число элементов, входящих в него (36).

5. Все результаты занести в табл. 3.

6. Построить график зависимости ЭДС солнечного модуля от плотности потока излучения W , падающего на его поверхность.

Таблица 3

Результаты измерений и вычислений

Угол падения излучения, град	E_{cp} , лк	ЭДС, В	W , Вт/м ²	ЭДС-1, В
0				
10				
20				
30				
40				
50				

Таблица 4

Исходные данные

Угол падения излучения, град	Вариант задания									
	I		II		III		IV		V	
	E_{cp} , лк	ЭДС, В	E_{cp} , лк	ЭДС, В	E_{cp} , лк	ЭДС, В	E_{cp} , лк	ЭДС, В	E_{cp} , лк	ЭДС, В
0	2 960	17,3	2 660	17,0	2 360	16,8	2 160	16,0	1 960	15,8
10	2 860	16,5	2 580	16,2	2 280	16,0	2 080	15,2	1 880	15,0
20	2 770	15,9	2 480	15,6	2 180	15,4	1 980	14,6	1 780	14,4
30	2 710	15,7	2 420	15,4	2 120	15,2	1 920	14,4	1 720	14,2
40	2 650	15,5	2 360	15,2	2 060	15,0	1 860	14,2	1 660	14,0
50	2 570	15,2	2 280	15,0	1 980	14,8	1 780	14,0	1 580	13,8

б) Определение вольт-амперной характеристики солнечного модуля.

1. Для определения вольт-амперной характеристики солнечного модуля к цепи модуля подключается нагрузочный резистор 6. С помощью реостата, перемещая его подвижный контакт, изменяется сопротивление нагрузки в цепи и производится измерение напряжения U на солнечном модуле вольтметром 3 и тока I , протекающего по цепи, с помощью амперметра 2.

Источник света устанавливается на прямое излучение на поверхность солнечного модуля.

С ростом нагрузки увеличивается величина тока и уменьшается напряжение, вырабатываемое модулем.

2. Исходные данные для расчета вольт-амперной характеристики солнечного модуля, приведены в табл. 6.

3. Для каждого измерения вычислить электрическую мощность в цепи $N = I \cdot U$.

4. Все данные занести в табл. 5.

Таблица 5

Результаты измерений и вычислений

Плотность потока излучения, Вт/м ²	Номер измерения	Напряжение U , В	Сила тока I , А	Мощность N , Вт
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

Таблица 6

Исходные данные

Номер измерения	Вариант задания									
	I		II		III		IV		V	
	U , В	I , А	U , В	I , А	U , В	I , А	U , В	I , А	U , В	I , А
1	1,5	0,178	2,5	0,170	2,0	0,174	1,0	0,182	3,0	0,168
2	4,0	0,162	5,0	0,155	4,5	0,160	3,0	0,168	6,0	0,150
3	7,5	0,142	7,5	0,137	7,0	0,140	5,0	0,150	9,0	0,127
4	9,0	0,125	10,0	0,120	9,5	0,120	7,0	0,140	11,5	0,105
5	11,0	0,110	12,5	0,095	12,0	0,100	9,0	0,125	13,5	0,085
6	13,0	0,090	15,0	0,065	14,5	0,080	11,0	0,110	15,5	0,060

5. Построить вольт-амперную характеристику (график зависимости I от U) солнечного модуля при данной плотности потока излучения, значение которой взять из предыдущей серии измерений.

6. Отметить наибольшее значение мощности, вырабатываемой солнечным модулем.

7. Определить коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую $K_{\phi} = W / N$.

Практическое занятие № 4

ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ ПО ТРУБОПРОВОДУ

Ключевые слова: трубопровод, расход энергии на транспортирование, объемный расход, потери энергии, потери давления, напора, вязкость, гидравлические потери, потери напора по длине, местные потери, коэффициент гидравлического трения, коэффициент местного сопротивления.

Цель работы: экспериментальное определение потерь энергии на транспортирование жидкости по сложному трубопроводу, включающему в себя магистральный трубопровод и участки с резким изменением геометрии потока: резким расширением, резким сужением, резким и плавным поворотами потока.

Общие сведения

Транспортирование текучих сред (жидкостей и газов) по трубопроводам осуществляется с помощью нагнетательных устройств (насосов, вентиляторов и т.п.). Для того чтобы перемещать текучую среду, нагнетательное устройство должно затрачивать некоторую энергию, которая зависит не только от физических свойств среды, но и от характеристик трубопроводной системы. Эксплуатационные расходы энергии на транспортирование можно существенно сократить за счет выбора оптимальной геометрии трубопроводной системы, что может быть реализовано только после изучения основных закономерностей течения жидкостей и газов по трубопроводам.

Поток жидкости либо газа можно характеризовать *объемным расходом* Q (м³/с) и средней по сечению трубы *скоростью* w (м/с). Расход является одной из основных характеристик потоков жидкости либо газа. *Расходом* называется количество жидкости или газа, которое перемещается через поперечное сечение трубопровода в единицу времени. Расход и скорость связаны между собой соотношением $Q = w \cdot S$, где S – площадь поперечного сечения трубы (м²).

При движении реальных жидкостей и газов часть механической энергии движения необратимо превращается в тепловую. Эта часть энергии называется *потерей энергии* ΔE . Потери энергии обусловлены существованием сил вязкого трения в жидкостях и газах, т.е. вязкости. С потерями энергии связаны *потери давления* (Па) $\Delta p_{nom} = \rho \cdot \Delta E$ и *потери напора* (м) $\Delta h_{nom} = \Delta p_{nom} / (\rho \cdot g) = \Delta E / g$, где ρ – плотность жидкости либо газа; g – ускорение свободного падения.

Существование сил вязкости приводит к затратам энергии на перемещение текучих сред. Часть мощности, затрачиваемая нагнетательным устройством на транспортирование по трубопроводу текучих сред с расходом Q , определяется выражением

$$N = \Delta p_{nom} \cdot Q.$$

Гидравлические потери давления (напора) обычно делят на два вида. Первый вид представляет собой потери давления на трение Δp_T при стабилизированном движении жидкости в длинных трубах. Эти потери равномерно распределяются по всей длине трубы. Потери второго вида Δp_M сосредоточены на сравнительно коротких участках трубопроводов и вызываются местными изменениями конфигурации канала. Эти сопротивления называются местными. Примерами местных сопротивлений могут служить участки резкого расширения и сужения трубопровода, места слияния и разделения потоков, различного рода трубопроводная арматура (вентили, клапаны, задвижки, дроссели и т.п.). Характерной особенностью движения жидкости через местные сопротивления является образование вихрей в потоке, что вызывает значительные потери энергии (давления, напора).

Таким образом, полные потери давления и напора определяются выражениями:

$$\Delta p_{nom} = \Delta p_T + \Delta p_M;$$

$$\Delta h_{nom} = \Delta h_T + \Delta h_M.$$

Потери напора по длине для случая установившегося движения жидкости по трубопроводу круглого сечения определяются по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$\Delta h_T = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g},$$

где λ – коэффициент сопротивления трения;
 l – длина рассматриваемого участка трубы, м;

d – внутренний диаметр трубопровода, м;

w – средняя скорость жидкости, м/с.

Из формулы видно, что величина потерь напора по длине возрастает с увеличением скорости потока, длины трубы и уменьшается с увеличением диаметра трубопровода.

Потери напора в местном сопротивлении определяются по формуле

$$\Delta h_M = \xi \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g},$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления; определяется на основании эмпирических справочных данных.

Сравнительный анализ различных гидравлических сопротивлений показывает, что потери энергии значительно возрастают при резком изменении диаметра трубы, резких поворотах и т.п.

Значения коэффициентов сопротивления, как правило, определяются опытным путем и в обобщенном виде содержатся в справочниках в виде эмпирических формул, таблиц, графиков.

Основные *методы снижения потерь энергии* при транспортировании жидкостей и газов по сложным трубопроводам:

- использование труб с гладкой внутренней поверхностью;
- обеспечение плавных поворотов потока;
- устройство плавного изменения поперечного сечения потока жидкости;
- устройство плавных входов и выходов из труб;
- разогрев при перекачивании высоковязких жидкостей;
- введение полимерных добавок в поток жидкости.

Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рис. 8. Вода из напорного бака 1 проходит последовательно через входной вентиль 2, магистральный трубопровод 3, участки трубопровода с резким 4 и плавным 5 поворотами, резким расширением 6 и резким сужением 7, диафрагму 8 и сливается в бак 10. Расход воды регулируется вентилем 9 и определяется по перепаду давления на диафрагме 8 с помощью тарировочного графика. Уровень в баке 1 поддерживается постоянным с помощью насоса 11.

Пьезометрический напор в жидкости на различных участках трубопровода определяется по показаниям пьезометрических трубок $h_1 - h_{10}$, выведенных на общий щит и установленных на исследуемых участках трубопровода.

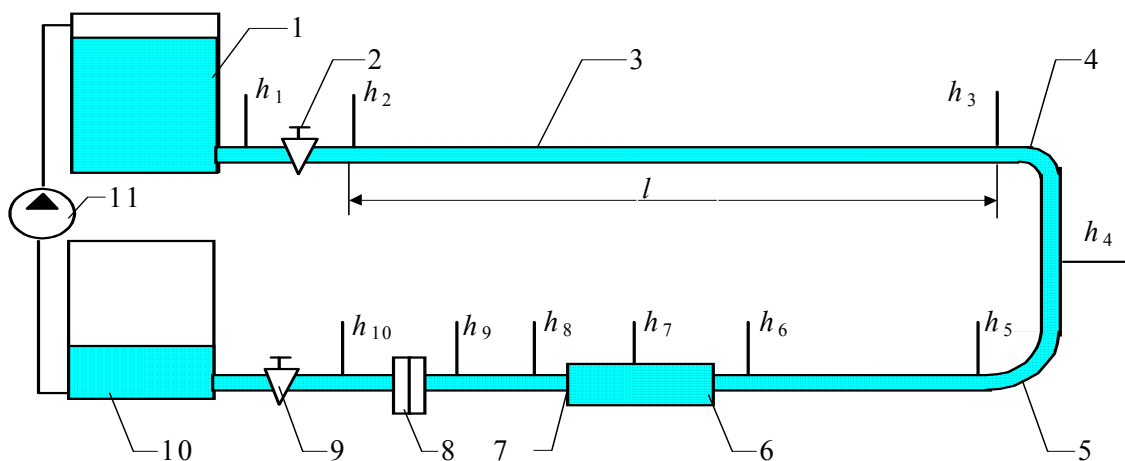


Рис. 8. Схема экспериментальной установки

Длина магистрального участка трубопровода $l = 1,7$ м; диаметр $d = 1,6 \cdot 10^{-2}$ м; плотность воды $\rho = 1\,000$ кг/м³.

Порядок выполнения работы

1. Включить насос 11 и заполнить напорный бак 1.
2. Открыть вентиль 2 полностью и с помощью вентиля 9 установить заданное значение расхода воды. Величина расхода определяется по разности $\Delta h_{9,10}$ показаний пьезометров Δh_9 и Δh_{10} ($\Delta h_{9,10} = h_9 - h_{10}$) и тарировочному графику.
3. При данном значении расхода снять показания всех пьезометров, данные занести в табл. 7.
4. Изменить расход жидкости и при каждом значении расхода снять показания всех пьезометров, данные занести в табл. 7.

Таблица 7

Показания пьезометров

№ опыта	h_1 , мм	h_2 , мм	h_3 , мм	h_4 , мм	h_5 , мм	h_6 , мм	h_7 , мм	h_8 , мм	h_9 , мм	h_{10} , мм
1										
2										
3										

1. После выполнения работы закрыть вентили 2 и 9 и отключить насос.
2. Исходные данные, необходимые для выполнения расчетов, приведены в табл. 9.

Обработка экспериментальных данных

1. Определить потери напора на отдельных участках трубопровода, например, $\Delta h_{1,2} = h_1 - h_2$. Данные занести в табл. 8.

2. По перепаду напора на диафрагме 8 $\Delta h_{9,10} = h_9 - h_{10}$ (мм) определить расход воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) для 3-х опытов по выражению

$$Q = (53,5 + 0,1495 \cdot \Delta h_{9,10}) \cdot 10^{-6}.$$

Полученные данные занести в табл. 8.

3. Определить среднюю скорость воды w в трубопроводе:

$$w = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2}.$$

4. Мощность N_i , затрачиваемая на преодоление каждого из гидравлических сопротивлений, определяется по формуле

$$N_i = \rho \cdot g \cdot \Delta h_{nom} \cdot Q.$$

5. Определить суммарную мощность N , затрачиваемую на транспортирование жидкости по трубопроводу:

$$N = N_{1,2} + N_{2,3} + N_{3,4} + N_{4,5} + N_{6,7} + N_{7,8} + N_{9,10}.$$

Полученные данные занести в табл. 8.

6. Провести сравнительный анализ потерь энергии на каждом из участков сложного трубопровода. Обратит внимание на влияние скорости течения на потери энергии.

7. По результатам расчетов построить график зависимости мощности N , затрачиваемой на транспортирование жидкости по трубопроводу, от скорости протекания жидкости w .

Таблица 8

Результаты измерений и вычислений

№ опыта		1	2	3
Расход Q , $\text{м}^3/\text{с}$				
Средняя скорость w , $\text{м}/\text{с}$				
Входной вентиль	$\Delta h_{1,2}$, м			
	$N_{1,2}$, Вт			
Магистральный трубопровод	$\Delta h_{2,3}$, м			
	$N_{2,3}$, Вт			

Окончание табл.

Резкий поворот на 90°	$\Delta h_{3,4}$, м			
	$N_{3,4}$, Вт			
Плавный поворот на 90°	$\Delta h_{4,5}$, м			
	$N_{4,5}$, Вт			
Резкое расширение	$\Delta h_{6,7}$, м			
	$N_{6,7}$, Вт			
Резкое сужение	$\Delta h_{7,8}$, м			
	$N_{7,8}$, Вт			
Диафрагма	$\Delta h_{9,10}$, м			
	$N_{9,10}$, Вт			
Суммарная мощность	N , Вт			

Таблица 9

Исходные данные

№ варианта	№ опыта	Показания пьезометров									
		h_1 , мм	h_2 , мм	h_3 , мм	h_4 , мм	h_5 , мм	h_6 , мм	h_7 , мм	h_8 , мм	h_9 , мм	h_{10} , мм
I	1	1340	1305	1110	1075	1070	1060	1060	1040	995	90
	2	1370	1350	1220	1205	1200	1190	1190	1180	1150	550
	3	1400	1380	1290	1275	1270	1265	1265	1255	1235	835
II	1	1355	1318	1125	1093	1090	1080	1080	1060	1015	90
	2	1380	1362	1230	1208	1205	1195	1195	1185	1155	540
	3	1405	1387	1305	1283	1276	1271	1271	1260	1240	825
III	1	1365	1330	1135	1100	1095	1085	1085	1066	1020	80
	2	1390	1370	1240	1215	1210	1200	1200	1190	1160	530
	3	1410	1395	1310	1290	1285	1280	1280	1270	1250	825
IV	1	1370	1337	1140	1102	1100	1090	1090	1070	1025	70
	2	1400	1382	1250	1222	1220	1210	1210	1202	1172	527
	3	1415	1398	1311	1293	1288	1283	1283	1275	1255	820
V	1	1375	1340	1145	1110	1105	1095	1095	1075	1030	60
	2	1405	1385	1255	1230	1225	1215	1215	1205	1175	515
	3	1420	1405	1320	1300	1292	1287	1287	1285	1265	815

Практическое занятие № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Ключевые слова: тепловой насос, низкопотенциальное тепло, коэффициент преобразования, хладагент, испаритель, конденсатор.

Цель работы: изучение цикла теплового насоса. Определение коэффициента преобразования ε . Определение количества низкопотенциальной теплоты, отбираемой у окружающей среды Q_2 . Определение количества теплоты, передаваемой в систему отопления помещения Q_1 .

Общие сведения

Альтернативой традиционным способам теплоснабжения, основанным на сжигании топлива, является выработка тепла с помощью теплового насоса.

Независимо от типа теплового насоса и типа привода компрессора на единицу затраченного исходного топлива потребитель получает, по крайней мере, в 1,1 – 2,3 раза больше тепла, чем при прямом сжигании топлива.

Такая высокая эффективность производства тепла достигается тем, что тепловой насос вовлекает в полезное использование низкопотенциальное тепло естественного происхождения (тепло грунта, природных водоемов, грунтовых вод) и техногенного происхождения (промышленные стоки, стоки очистных сооружений, вентиляционные выбросы и т.д.) с температурой от +3 до +40 °С, т.е. такое тепло, которое не может быть напрямую использовано для теплоснабжения.

Естественно, что тепловые насосы довольно интенсивно вытесняют традиционные способы теплоснабжения, основанные на сжигании органического топлива.

Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. 75 % теплоснабжения (коммунального и производственного) в развитых странах будет осуществляться с помощью тепловых насосов.

Этот прогноз успешно подтверждается. В настоящее время в мире работает 15 – 18 млн тепловых насосов различной мощности: от нескольких киловатт до сотен мегаватт. В США более 30 % жилых домов оборудованы тепловыми насосами. В Швеции с 1984 по 1986 гг. введены в эксплуатацию 74 крупные (от 5 до 80 МВт) теплонасосные станции. Наиболее крупной теплонасосной установкой является стокгольмская установка мощностью 320 МВт, работающая на принципе охлаждения воды, поступающей из Балтийского моря. Эта установка, расположенная на причаленных к берегу баржах, использует и зимой морскую воду с температурой 4 °С, охлаждая ее до 2 °С. Себестоимость тепла от этой установки на 20 % ниже себестоимости тепла, получаемого от газовой котельной. Общее количество тепла, вырабатываемого теплонасосными установками в Швеции, составляет около 50 % от требуемого.

Результатом работы всякого холодильного цикла является охлаждение холодного источника и нагрев горячего за счет подвода внешней работы. Кельвин (1852) предложил применить обратный цикл для целей отопления, используя его в качестве теплового насоса, который перекачивает бы теплоту, отобранную от холодного источника (внешней среды), в горячий источник.

Основное уравнение теплового баланса обратного цикла имеет вид:

$$q_1 = q_0 + l,$$

где q_1 – удельная теплота, передаваемая горячему источнику, кДж/кг (теплота, передаваемая в систему отопления помещения);

q_0 – удельная теплота, отбираемая от холодного источника, кДж/кг (низкопотенциальная теплота);

l – удельная работа, подводимая от внешнего источника, кДж/кг.

Эффективность работы теплового насоса оценивается коэффициентом преобразования ε , который представляет собой отношение теплоты, полученной телом, к энергии, подводимой от внешнего источника:

$$\varepsilon = q_1/l.$$

Рабочий цикл теплового насоса представлен на рис. 9.

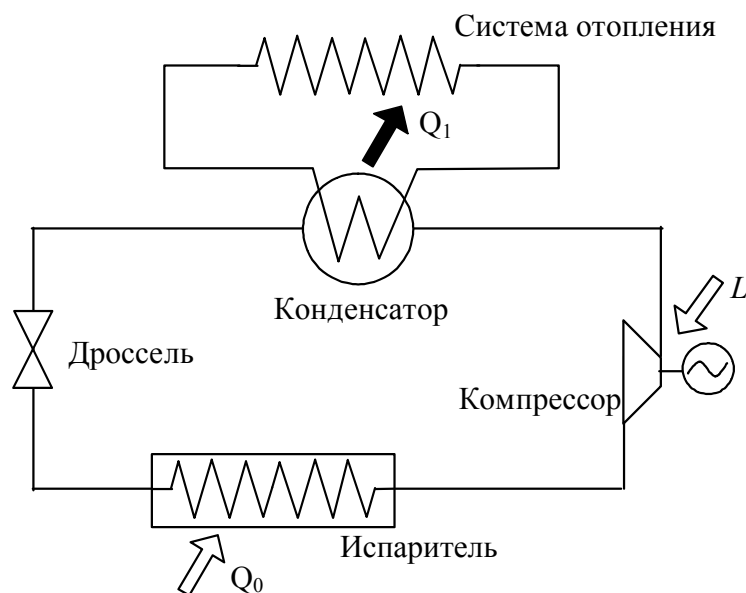


Рис. 9. Рабочий цикл теплового насоса

Низкопотенциальная теплота Q_0 поступает в испаритель теплового насоса, где ее воспринимает рабочее тело (хладагент), циркулирующее в цикле.

Источником низкопотенциальной теплоты может быть наружный воздух, природные водоемы, грунт, питьевая вода, промышленные стоки, вентиляционные выбросы и т.д. В качестве хладагентов в циклах используются теплоносители с низкой температурой кипения – углекислота, аммиак, фреоны. Хладагент поступает в испаритель в жидком состоянии. В процессе подвода теплоты Q_0 к жидкому хладагенту происходит его превращение в пар (при постоянном давлении и температуре). Пары хладагента поступают в компрессор, где сжимаются, повышается их давление и температура. При сжатии в компрессоре от внешнего источника (электродвигателя) подводится работа L . Нагретые пары хладагента поступают в конденсатор, где отдают свое тепло Q_1 в систему отопления помещения и за счет отдачи теплоты конденсируются (превращаются в жидкость) при постоянном давлении и температуре. Жидкий хладагент поступает в дроссель, где его давление падает до давления в испарителе, а температура снижается до температуры низкопотенциального источника. Цикл замыкается.

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 10.

Порядок выполнения работы

1. Включить установку в сеть.
2. Выйти на стационарный режим, о котором свидетельствует неизменность показаний манометров.
3. Измерить при помощи манометров 6 давление за компрессором 1 и за дроссельным вентилем 3 перед испарителем 4.
4. Измерить атмосферное давление барометром 10 и температуру термометром 11 в помещении, где расположена установка.
5. При помощи термопар 7 и милливольтметра 9 измерить температуры в конденсаторе 2 и испарителе 4 в милливольттах и, пользуясь табл. 13, перевести их в градусы Цельсия с учетом поправки на холодный спай термопар (к табличному значению температуры в °С прибавить температуру окружающей среды).
6. Полученные данные занести в табл. 10.
7. Исходные данные, необходимые для выполнения расчетов, приведены в табл. 12.

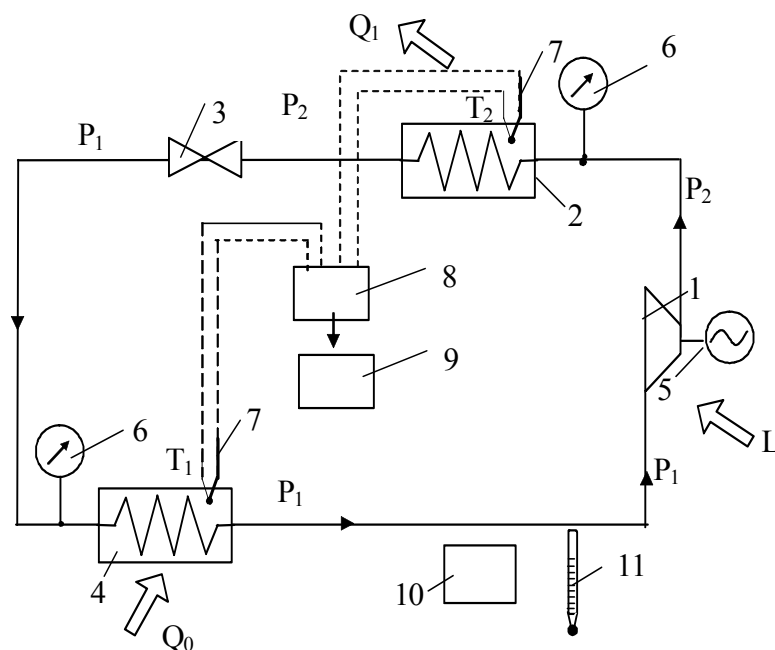


Рис. 10. Схема экспериментальной установки:

- 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – дроссельный вентиль; 4 – испаритель;
 5 – электродвигатель; 6 – манометры; 7 – хромель-копелевые термопары;
 8 – переключатель термопар; 9 – милливольтметр; 10 – барометр; 11 – термометр

Таблица 10

Результаты измерений и вычислений

$P_{1ман}$, ати	$P_{2ман}$, ати	P_1 , МПа	P_2 , МПа	P_a , Па	t_1 , мВ	t_2 , мВ	t_1 , °С	t_2 , °С	$t_{ос}$, °С

Рассмотренный цикл теплового насоса в $T-s$ диаграмме выглядит следующим образом (рис. 11). (Координаты: T – абсолютная температура, К; $s = dq/T$ – удельная энтропия – термодинамический параметр состояния, кДж/(кг·К)).

По полученным значениям температур t_1 и t_2 (см. табл. 10) и с использованием данных табл. 14 заполняется табл. 11.

Таблица 11

Термодинамические параметры состояния – удельные энтальпия и энтропия

Параметры Температура	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	s' , кДж/(кг·К)	s'' , кДж/(кг·К)
t_1 , °С				
t_2 , °С				

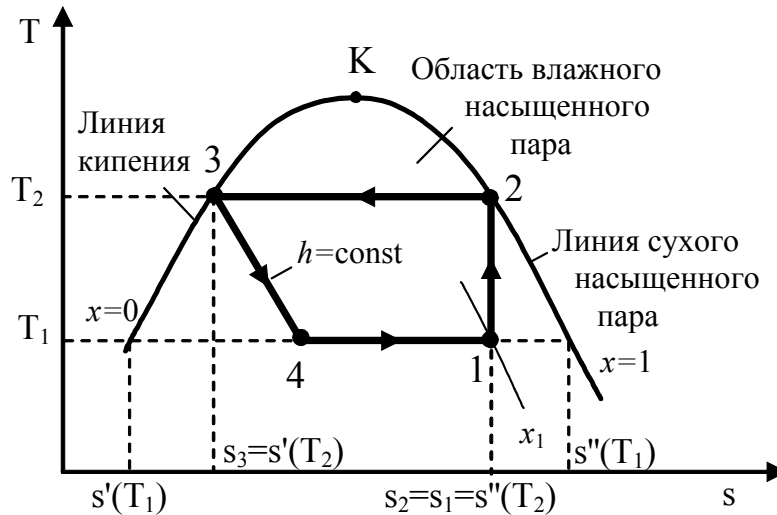


Рис. 11. Цикл теплового насоса:

1-2 – адиабатное сжатие хладагента в компрессоре; 2-3 – отвод теплоты из конденсатора в систему отопления помещения ($P_2 = \text{const}$, $T_2 = \text{const}$); 3-4 – дросселирование; 4-1 – подвод низкопотенциальной теплоты из окружающей среды к испарителю ($P_1 = \text{const}$, $T_1 = \text{const}$)

Методика расчета

Манометры измеряют избыточное давление (давление, превышающее атмосферное). Для определения абсолютного давления следует воспользоваться формулой

$$P = P_{\text{ман}} + P_a,$$

где P_a – атмосферное давление, измеренное барометром.

Соответственно,

$$P_1 = P_{1\text{ман}} \cdot 10^5 + P_a, \text{ Па,}$$

$$P_2 = P_{2\text{ман}} \cdot 10^5 + P_a, \text{ Па.}$$

(1 МПа = 10^6 Па).

Определив температуры t_1 и t_2 ($^{\circ}\text{C}$) и давления P_1 и P_2 , воспользуемся таблицей свойств насыщенных паров фреона-12 (табл. 14).

Из рис. 11 видно, что точка 2 лежит на линии сухого насыщенного пара:

$$h_2 = h''_{t_2}, \text{ кДж/кг; } s_2 = s''_{t_2}, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К).}$$

Точка 3 лежит на линии кипения:

$$h_3 = h'_{t_2}, \text{ кДж/кг}; s_3 = s'_{t_2}, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}.$$

Процесс 3-4 – дросселирование, $h = \text{const}$, следовательно,

$$h_4 = h_3, \text{ кДж/кг}.$$

Для того, чтобы найти параметры в точке 1, надо вначале найти степень сухости в этой точке. Это можно сделать исходя из того, что

$$s_1 = s_2, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; x_1 = \frac{s_1 - s'_{t_1}}{s''_{t_1} - s'_{t_1}}.$$

Значение x_1 находится в пределах $0,9 \dots 1$ (для проверки). Тогда

$$h_1 = h''_{t_1} \cdot x_1 + h'_{t_1} \cdot (1 - x_1), \text{ кДж/кг}.$$

Удельное количество теплоты, отдаваемое конденсатором в систему отопления помещения:

$$q_1 = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг}.$$

Удельное количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю:

$$q_2 = h_1 - h_4, \text{ кДж/кг}.$$

Удельная работа цикла

$$l = q_1 - q_2 = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг}.$$

В процессе дросселирования работа не производится, поэтому работа цикла равна работе компрессора. Мощность компрессора $N = 0,2$ кВт.

Расход хладагента $G = N/l$, кг/с, где N – кВт; l – кДж/кг.

Количество теплоты, отдаваемое конденсатором в систему отопления помещения: $Q_1 = q_1 \cdot G$, кВт.

Количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю: $Q_0 = q_0 \cdot G$, кВт.

Коэффициент преобразования $\varepsilon = q_1/l$.

Значение коэффициента преобразования должно быть больше единицы, что показывает, что в систему отопления помещения отдано теплоты больше, чем затрачено работы в ε раз за счет использования низкопотенциальной теплоты наружного воздуха. Это следует отразить в выводах.

Таблица 12

Исходные данные

№ варианта	Показатели					
	$P_{1ман}$, ати	$P_{2ман}$, ати	P_a , Па	t_1 , мВ	t_2 , мВ	t_{oc} , °C
I	0,85	10,5	101 000	-1,40	2,0	16
II	0,90	11,1	90 000	-1,30	2,2	20
III	0,81	10,2	97 000	-1,48	1,9	21
IV	0,93	11,7	118 000	1,60	2,6	19
V	0,97	12,1	93 000	1,70	2,8	22

Таблица 13

Градуировочная таблица для термопар
Термопара «хромель-копель»

Температура рабочего конца, °C	ТермоЭДС, мВ, температура, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-90	-5,146	-5,196	-5,246	-5,296	-5,346	-5,396	-5,445	-5,494	-5,543	-5,592
-80	-4,634	-4,686	-4,738	-4,790	-4,841	-4,892	-4,943	-4,994	-5,045	-5,096
-70	-4,106	-4,160	-4,213	-4,266	-4,319	-4,372	-4,425	-4,478	-4,530	-4,582
-60	-3,562	-3,617	-3,672	-3,727	-3,782	-3,836	-3,890	-3,945	-3,999	-4,052
-50	-3,003	-3,059	-3,116	-3,172	-3,228	-3,284	-3,340	-3,396	-3,451	-3,507
-40	-2,429	-2,487	-2,545	-2,603	-2,660	-2,718	-2,775	-2,832	-2,889	-2,946
-30	-1,841	-1,901	-1,960	-2,019	-2,078	-2,137	-2,196	-2,254	-2,313	-2,371
-20	-1,240	-1,301	-1,361	-1,422	-1,482	-1,542	-1,602	-1,662	-1,722	-1,782
-10	-0,626	-0,688	-0,750	-0,812	-0,873	-0,935	-0,996	-1,057	-1,118	-1,179
0	0	-0,063	-0,126	-0,189	-0,252	-0,315	-0,377	-0,440	-0,502	-0,564
0	0	0,063	0,127	0,190	0,254	0,318	0,381	0,445	0,509	0,574
10	0,638	0,702	0,767	0,832	0,896	0,961	1,026	1,091	1,157	1,222
20	1,287	1,353	1,418	1,484	1,550	1,616	1,682	1,748	1,815	1,881
30	1,947	2,014	2,081	2,148	2,214	2,282	2,349	2,416	2,483	2,551
40	2,618	2,686	2,753	2,821	2,889	2,957	3,025	3,094	3,162	3,260
50	3,299	3,367	3,436	3,505	3,574	3,643	3,712	3,781	3,850	3,920
60	3,989	4,059	4,128	4,198	4,268	4,338	4,408	4,478	4,548	4,619
70	4,689	4,760	4,830	4,901	4,972	5,042	5,113	5,184	5,255	5,327
80	5,398	5,469	5,541	5,612	5,684	5,756	5,828	5,899	5,971	6,043
90	6,116	6,188	6,260	6,333	6,405	6,478	6,550	6,623	6,696	6,769
100	6,842	6,915	6,988	7,061	7,135	7,208	7,281	7,355	7,429	7,502
110	7,576	7,650	7,724	7,798	7,872	7,946	8,021	8,095	8,169	8,244
120	8,318	8,393	8,468	8,543	8,618	8,693	8,768	8,843	8,918	8,993
130	9,069	9,144	9,220	9,295	9,371	9,446	9,522	9,598	9,674	9,750
140	9,826	9,902	9,979	10,055	10,131	10,208	10,284	10,361	10,438	10,514
150	10,591	10,688	10,745	10,822	10,899	10,976	11,054	11,131	11,208	11,286
160	11,363	11,441	11,519	11,596	11,674	11,752	11,830	11,908	11,986	12,064
170	12,142	12,221	12,299	12,377	12,456	12,534	12,613	12,692	12,770	12,849
180	12,928	13,007	13,086	13,165	13,244	13,323	13,403	13,482	13,561	13,641
190	13,720	13,800	13,879	13,959	14,039	14,119	14,199	14,278	14,359	14,439

Свойства насыщенных паров фреона-12

Температура		Давление абсолютное	Энтальпия		Теплота парооб- разования	Энтропия	
			жидкость	пар		жидкость	пар
t , °С	T , К	p , бар	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	r , кДж/кг	s' , кДж/(кг·К)	s'' , кДж/(кг·К)
1	2	3	4	5	6	7	8
-10	263,15	2,1910	409,47	568,89	159,39	4,15280	4,75859
-9	264,15	2,2700	410,39	569,32	158,93	4,15624	4,75809
-8	265,15	2,3520	411,27	569,78	158,51	4,15963	4,75759
-7	266,15	2,4353	412,19	570,24	158,05	4,16302	4,75704
-6	267,15	2,5215	413,11	570,74	157,63	4,16645	4,75658
-5	268,15	2,6088	414,03	571,21	157,17	4,16984	4,75612
-4	269,15	2,6999	414,95	571,67	156,71	4,17323	4,75562
-3	270,15	2,7928	415,87	572,13	156,25	4,17663	4,75516
-2	271,15	2,8870	416,84	572,63	155,79	4,18006	4,75478
-1	272,15	2,9857	417,76	573,09	155,33	4,18341	4,75432
0	273,15	3,0857	418,68	573,55	154,87	4,18680	4,75394
1	274,15	3,1882	419,60	574,01	154,41	4,19019	4,75348
2	275,15	3,2934	420,56	574,47	153,91	4,19354	4,75302
3	276,15	3,4006	421,49	574,93	153,45	4,19693	4,75265
4	277,15	3,5112	422,45	575,39	152,94	4,20028	4,75227
5	278,15	3,6244	423,37	575,85	152,48	4,20363	4,75189
6	279,15	3,7398	424,33	576,31	151,98	4,20702	4,75152
7	280,15	3,8587	425,30	576,77	151,48	4,21037	4,75118
8	281,15	3,9797	426,22	577,19	150,98	4,21372	4,75080
9	282,15	4,1044	427,18	577,65	150,47	4,21707	4,75043
10	283,15	4,2301	428,14	578,11	149,97	4,22042	4,75013
11	284,15	4,3606	429,14	578,53	149,43	4,22377	4,74976
12	285,15	4,4354	430,07	578,99	148,92	4,22712	4,74946
13	286,15	4,6296	431,03	579,41	148,38	4,23043	4,74909
14	287,15	4,7681	431,99	579,83	147,84	4,23378	4,74875
15	288,15	4,9108	433,00	580,33	147,33	4,23708	4,74842
16	289,15	5,0553	433,96	580,71	146,75	4,24043	4,74812
17	290,15	5,2041	434,92	581,17	146,24	4,24378	4,74783
18	291,15	5,3549	435,93	581,59	145,65	4,24709	4,74750
19	292,15	5,5086	436,89	582,01	145,11	4,25040	4,74720
20	293,15	5,6669	437,90	582,47	144,57	4,25371	4,74691
21	294,15	5,5883	438,86	582,84	143,98	4,25705	4,74662
22	295,15	5,9930	439,87	583,26	143,40	4,26036	4,74633
23	296,15	6,1610	440,83	583,64	142,81	4,26363	4,74604
24	297,15	6,3335	441,83	584,06	142,23	4,26694	4,74575

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
25	298,15	6,5080	442,84	584,52	141,68	4,27024	4,74549
26	299,15	6,6857	443,84	584,90	141,05	4,29993	4,74519
27	300,15	6,8666	444,85	585,27	140,43	4,27686	4,74486
28	301,15	7,0542	445,85	585,69	139,84	4,28012	4,74457
29	302,15	7,2435	446,86	586,07	139,21	4,28339	4,74427
30	303,15	7,4344	447,86	586,49	138,62	4,28674	4,74406
31	304,15	7,6321	448,87	586,82	137,96	4,29000	4,74369
32	305,15	7,8352	449,87	587,20	137,33	4,29327	4,74339
33	306,15	8,0417	450,88	587,58	136,70	4,29649	4,74306
34	307,15	8,2461	451,92	587,95	136,03	4,29980	4,74281
35	308,15	8,4596	452,93	588,29	135,36	4,30311	4,74251
40	313,15	9,5818	458,08	590,09	132,01	4,31940	4,74097
45	318,15	10,810	463,31	591,72	128,41	4,33568	4,73933
50	323,15	12,147	468,54	593,10	124,56	4,35189	4,73741
55	328,15	13,600	474,16	595,07	120,91	4,36876	4,73728
60	333,15	15,182	479,68	596,58	116,90	4,38509	4,73850
65	338,15	16,883	485,33	597,96	112,63	4,40142	4,73452

Практическое занятие № 6

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Ключевые слова: тепловой насос, тепловые вторичные энергетические ресурсы (ТВЭР), потенциал ТВЭР, теплоснабжение, горячее водоснабжение, отопление, энергетическая эффективность, окупаемость, доходность.

Цель работы: определение энергетической эффективности применения тепловых насосов для утилизации тепловых вторичных энергетических ресурсов; определение срока окупаемости и величины доходности внедрения теплового насоса в систему горячего водоснабжения.

Общие сведения

Тепловые насосы являются наиболее эффективным оборудованием, способствующим увеличению объема и глубины использования ТВЭР промышленных предприятий. Для определения технической возможности и эффективности их применения необходимо иметь достовер-

ную информацию о параметрах и режимах выхода ТВЭР, тепловых нагрузках и их продолжительности, показателях замещаемых тепловых источников, тенденциях изменения стоимости энергоносителей, ожидаемой технологической и экологической эффективности от внедрения систем утилизации и др.

При оценке технических показателей применения тепловых насосов тепловой потенциал ТВЭР классифицируется на расчетный, используемый без ущерба для технологии и окружающей среды в течение часа ($Q_{ТВЭР}^p$, кВт), и располагаемый, используемый за год ($Q_{ТВЭР}^c$, ГДж). Их величины определяются по выражениям:

$$Q_{ТВЭР}^p = G_{ij} \cdot \rho \cdot C_i \cdot \Delta t_{ij} \cdot R_{ij} / 3600,$$

$$Q_{ТВЭР}^c = \sum 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{ТВЭР}^p \cdot n_{ij},$$

где G_{ij} – объемный расход ТВЭР i -того вида в j -тый период года, м³/ч;
 ρ – плотность вещества, составляющего поток ТВЭР i -того вида, кг/м³;

C_i – теплоемкость потока ТВЭР i -того вида, кДж/(кг °С);

Δt_{ij} – средняя за j -тый период года глубина охлаждения потока ТВЭР i -того вида, °С;

R_{ij} – коэффициент, характеризующий доступность утилизации ТВЭР i -того вида в j -тый период года;

n_{ij} – продолжительность использования расчетного теплового потенциала ТВЭР i -того вида в j -тый период года, ч.

При укрупненных расчетах теплопроизводительность тепловых насосов в системах утилизации ТВЭР ($Q_{ТН}^p$, кВт и $Q_{ТН}^c$, ГДж) при покрытии ими тепловых нагрузок различных видов определяется из соотношений:

- отопительно-вентиляционной нагрузки

$$Q_{ТН}^p = 1,45 \cdot Q_{ТВЭР}^p,$$

$$Q_{ТН}^c = 1,33 \cdot Q_{ТВЭР}^c;$$

- нагрузки горячего водоснабжения

$$Q_{ТН}^p = 1,4 \cdot Q_{ТВЭР}^p,$$

$$Q_{ТН}^c = 1,45 \cdot Q_{ТВЭР}^c;$$

- при передаче теплоты в системы централизованного теплоснабжения

$$Q_{TH}^p = 1,45 \cdot Q_{ТВЭР}^p,$$

$$Q_{TH}^2 = 1,4 \cdot Q_{ТВЭР}^2.$$

Потребляемая мощность компрессора теплового насоса (N_{TH} , кВт) и годовой расход электрической энергии (\mathcal{E}_{TH}^2 , МВт·ч) на выработку теплоты Q_{TH}^2 определяются соотношениями:

$$N_{TH} = Q_{TH}^p - Q_{ТВЭР}^p,$$

$$\mathcal{E}_{TH}^2 = (Q_{TH}^2 - Q_{ТВЭР}^2) / 3,6.$$

Энергетическая эффективность применения тепловых насосов рассчитывается по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива (ΔB , %), определяемой по выражению

$$\Delta B = \left[1 - (\eta_{ТИ} \cdot \eta_{ТС} / (\eta_{ЭН} \cdot \eta_{ЭС} \cdot \varepsilon)) \right] \cdot 100 \%,$$

где $\eta_{ТИ}$ – КПД действующего источника теплоснабжения;

$\eta_{ТС}$ – КПД тепловой сети;

$\eta_{ЭН}$ – КПД источника электрической энергии;

$\eta_{ЭС}$ – КПД передачи и трансформации электрической энергии;

ε – среднегодовой коэффициент преобразования теплового насоса.

Экономическую эффективность применения тепловых насосов можно определять по величине приведенных затрат, сроку окупаемости, уровню рентабельности, величине доходности и др.

Наиболее значимыми составляющими в расчетах экономической эффективности являются величины необходимых капитальных вложений на внедрение тепловых насосов и ожидаемой экономии ежегодных расходов на теплоснабжение.

Укрупненно затраты на приобретение и подсоединение тепловых насосов ($K_{ТНУ}$) различных типов и теплопроизводительности (Q_{TH}^p), включая периферийное оборудование, к теплосети можно определять по следующим выражениям:

1) для системы с тепловым насосом «вода-вода» и винтовым компрессором

$$K_{THU} = \begin{cases} 40\,000 + 152 \cdot Q_{TH}^p & \text{при } 0 < Q_{TH}^p < 1\,044 \text{ кВт}, \\ 200\,000 + 128 \cdot Q_{TH}^p \cdot (Q_{TH}^p - 1044) & \text{при } Q_{TH}^p \geq 1\,044 \text{ кВт}; \end{cases}$$

2) для системы с тепловым насосом «вода-вода» и поршневым компрессором

$$K_{THU} = 58\,000 + 58 \cdot Q_{TH}^p \quad \text{при } Q_{TH}^p \leq 700 \text{ кВт};$$

3) для системы с тепловым насосом «вода-вода/воздух» и поршневым компрессором

$$K_{THU} = 70\,000 + 13 \cdot Q_{TH}^p \quad \text{при } Q_{TH}^p \leq 500 \text{ кВт};$$

4) для системы с тепловым насосом «воздух-вода» и спиральным компрессором

$$K_{THU} = 65\,400 + 263 \cdot Q_{TH}^p \quad \text{при } Q_{TH}^p \leq 100 \text{ кВт};$$

5) для системы с тепловым насосом «вода-вода» и спиральным компрессором

$$K_{THU} = 7\,700 + 115 \cdot Q_{TH}^p \quad \text{при } Q_{TH}^p \leq 300 \text{ кВт}.$$

Величина ожидаемой ежегодной экономии расходов \mathcal{E}^2 при введении тепловых насосов определяется величиной тепловой нагрузки Q , продолжительностью использования расчетной теплопроизводительности тепловых насосов n , стоимостью энергоносителей C и др.

Укрупненно величина

$$\mathcal{E}^2 = \mathcal{E}_{TP} - \mathcal{E}_{TH}.$$

Величина \mathcal{E}_{TP} определяется по выражению

$$\mathcal{E}_{TP} = 3,385 \cdot n \cdot C_Q \cdot Q_{TH}^p / 1\,000,$$

где C_Q – стоимость тепловой энергии, у.е./ГДж;

n – продолжительность использования расчетного теплового потенциала ТВЭР в течение года.

Величина \mathcal{E}_{TH} определяется по выражению

$$\mathcal{E}_{TH} = 0,286 \cdot n \cdot C_{\mathcal{E}} \cdot Q_{TH}^p,$$

где $C_{\mathcal{E}}$ – стоимость электрической энергии, у.е./кВт·ч.

Используя значения K_{THU} и \mathcal{E}^2 и задаваясь величиной процентной ставки по кредиту A , равной не более 0,5 ставки рефинансирования На-

ционального банка, по нижеприведенным выражениям можно определить срок окупаемости $T_{ок}$ и доходность D внедрения тепловых насосов:

$$T_{ок} = K_{ТНУ} / \mathcal{E}^2,$$

$$D = 100 \cdot \mathcal{E}^2 / (K_{ТНУ} \cdot (1 + A/100)).$$

Пример. Рассчитать и дать оценку энергетической и экономической эффективности применения теплового насоса (ТН) в системе утилизации теплоты сточных (оборотных) вод. Потребитель теплоты, выработанной ТН, – горячее водоснабжение предприятия и прилегающих объектов. Используется ТН типа «вода-вода» со спиральным компрессором.

Исходные данные:

1. Объемный расход ТВЭР (сточных вод) составляет $G = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$.
2. Глубина охлаждения потока ТВЭР $\Delta t = 4 \text{ }^\circ\text{C}$.
3. Коэффициент доступности утилизации ТВЭР равен $R = 0,9$.
4. Расчетная продолжительность использования теплового потенциала ТВЭР $n = 5\,000 \text{ ч}$.
5. Среднегодовой коэффициент преобразования ТН составляет $\varepsilon = 3,5$.
6. Коэффициент полезного действия (кпд) действующего источника теплоснабжения равен $\eta_{ТИ} = 0,85$.
7. Коэффициент полезного действия тепловой сети $\eta_{ТС} = 0,9$.
8. Коэффициент полезного действия источника электрической энергии $\eta_{ЭН} = 0,33$.
9. Коэффициент полезного действия передачи и трансформации электрической энергии $\eta_{ЭС} = 0,9$.
10. Стоимость электрической энергии $C_{\mathcal{E}} = 0,035 \text{ у.е./кВт}\cdot\text{ч}$.
11. Стоимость тепловой энергии $C_Q = 8,35 \text{ у.е./ГДж}$.
12. Процентная ставка по кредиту $A = 15 \%$.

Решение:

1. Определим тепловой потенциал ТВЭР:

- расчетный, используемый в течение часа:

$$Q_{ТВЭР}^p = G \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta t \cdot R / 3600 = 40 \cdot 1\,000 \cdot 4,19 \cdot 4 \cdot 0,9 / 3\,600 = 167,6 \text{ кВт};$$

- располагаемый, используемый в течение года:

$$Q_{ТВЭР}^2 = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{ТВЭР}^p \cdot n = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 167,6 \cdot 5\,000 = 3\,017 \text{ ГДж}.$$

2. Определим теплопроизводительность теплового насоса в системе утилизации ТВЭР при покрытии им тепловой нагрузки горячего водоснабжения:

$$Q_{ТН}^p = 1,4 \cdot Q_{ТВЭР}^p = 1,4 \cdot 167,6 = 234,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТН}^e = 1,45 \cdot Q_{ТВЭР}^e = 1,45 \cdot 3017 = 4375 \text{ ГДж}.$$

3. Определим потребляемую мощность компрессора теплового насоса:

$$N_{ТН} = Q_{ТН}^p - Q_{ТВЭР}^p = 234,6 - 167,6 = 67 \text{ кВт}.$$

4. Находим годовой расход электрической энергии на выработку теплоты:

$$\mathcal{E}_{ТН}^e = (Q_{ТН}^e - Q_{ТВЭР}^e) / 3,6 = (4375 - 3017) / 3,6 = 377,2 \text{ МВт}\cdot\text{ч}.$$

5. Энергетическую эффективность применения ТН определим по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива

$$\begin{aligned} \Delta B &= \left[1 - \left(\eta_{ТИ} \cdot \eta_{ТС} / (\eta_{ЭН} \cdot \eta_{ЭС} \cdot \varepsilon) \right) \right] \cdot 100 \% = \\ &= \left[1 - (0,85 \cdot 0,9 / (0,33 \cdot 0,9 \cdot 3,5)) \right] \cdot 100 \% = 26,4 \%. \end{aligned}$$

6. Определим укрупненно затраты на приобретение и подсоединение ТН и периферийного оборудования к теплосети. Для теплового насоса типа «вода-вода» со спиральным компрессором

$$K_{ТНУ} = 7700 + 115 \cdot Q_{ТН}^p = 7700 + 115 \cdot 234,6 = 34679 \text{ у.е.}$$

7. Определим величину ожидаемой ежегодной экономии расходов \mathcal{E}^e при внедрении теплового насоса:

$$\mathcal{E}^e = \mathcal{E}_{ТР} - \mathcal{E}_{ТН}.$$

Значение $\mathcal{E}_{ТР}$ определим по выражению

$$\mathcal{E}_{ТР} = 3,385 \cdot n \cdot C_Q \cdot Q_{ТН}^p / 1000 = 3,385 \cdot 5000 \cdot 8,35 \cdot 234,6 / 1000 = 33154 \text{ у.е.}$$

Значение $\mathcal{E}_{ТН}$ определим по выражению

$$\mathcal{E}_{ТН} = 0,286 \cdot n \cdot C_{\mathcal{E}} \cdot Q_{ТН}^p = 0,286 \cdot 5000 \cdot 0,035 \cdot 234,6 = 11741 \text{ у.е.}$$

Отсюда

$$\mathcal{E}^e = \mathcal{E}_{ТР} - \mathcal{E}_{ТН} = 33154 - 11741 = 21413 \text{ у.е.}$$

8. Срок окупаемости $T_{ок}$ теплового насоса равен

$$T_{ок} = K_{ТНУ} / \mathcal{E}^e = 34679 / 21413 = 1,62 \text{ года}.$$

9. Величина доходности D от внедрения ТН в систему горячего водоснабжения предприятия составит

$$D = 100 \cdot \mathcal{E}^2 / (K_{ТНУ} \cdot (1 + A/100)) = 100 \cdot 21\,413 / (34\,679 \cdot (1 + 15/100)) = 53,7 \%$$

Как следует из приведенного примера, применение теплового насоса энергетически и экономически обосновано, т.к. $\Delta B = 26,4 \%$, $T_{ок} = 1,62$ года, $D = 53,7 \%$.

Задача для самостоятельного решения

Рассчитать и дать оценку энергетической и экономической эффективности применения теплового насоса (ТН) в системе утилизации теплоты сточных (оборотных) вод. Потребитель теплоты, выработанной ТН, горячее водоснабжение предприятия и прилегающих объектов.

Исходные данные, необходимые для расчетов, представлены в табл. 15. Условные обозначения, используемые в задаче 2, одинаковы с задачей 1.

Таблица 15

Исходные данные для расчета

Параметр	Размерность	Варианты				
		I	II	III	IV	V
G	м ³ /ч	50	40	50	30	20
Δt	°С	10	8	12	6	8
R	–	0,80	0,85	0,70	0,95	0,75
n	ч	5 000	6 000	7 000	3 000	4 000
ε	–	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5
$\eta_{ТИ}$	–	0,85	0,80	0,87	0,75	0,70
$\eta_{ТС}$	–	0,90	0,85	0,90	0,85	0,80
$\eta_{ЭН}$	–	0,33	0,35	0,34	0,36	0,32
$\eta_{ЭС}$	–	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
$C_{\mathcal{E}}$	у.е./кВт·ч	0,035	0,040	0,030	0,025	0,045
$C_{\mathcal{Q}}$	у.е./ГДж	8,3	9,3	6,5	6,0	10,0
A	%	5	5	5	5	5
Тип ТН и тип компрессора	–	Вода-вода с поршневым компрессором	Вода-вода/воздух с поршневым компрессором	Вода-вода с винтовым компрессором	Вода-вода/воздух с поршневым компрессором	Вода-вода со спиральным компрессором

Практическое занятие № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Ключевые слова: электрические источники света, энергетическая освещенность, тепловое излучение, люминесцентное излучение, лампа накаливания, галогенная лампа, газоразрядная лампа, световая отдача.

Цель работы: изучение устройства, принципа действия и сравнение основных параметров наиболее распространенных типов электрических источников света.

Общие сведения

Свет представляет собой электромагнитные волны длиной $4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-7}$ м. Электрические волны излучаются при ускоренном движении заряженных частиц. Для того чтобы атом или молекула начали излучать, им необходимо передать определенное количество энергии. Излучая, они теряют полученную энергию, поэтому для непрерывного свечения необходим постоянный приток энергии извне.

Поток излучения $\Phi_{\text{изл}}$ – энергия, переносимая электромагнитными волнами за 1 секунду через произвольную поверхность. Единица измерения потока излучения – Дж/с = Вт.

Энергетическая освещенность $E_{\text{эн}}$ (плотность потока излучения) – отношение потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Единица измерения энергетической освещенности – Вт/м².

Световой поток Φ – поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. Человеческий глаз неодинаково чувствителен к потокам света с различными длинами волн (наиболее чувствителен глаз при дневном освещении к свету с длиной волны 555 нм). Единицей измерения светового потока с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен $4,6 \cdot 10^{-3}$ Вт (1 Вт = 217 лм).

Освещенность E – отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Измеряется в люксах (лк), где люкс – освещенность, при которой на 1 м² поверхности равномерно распределен световой поток в 1 люмен.

Освещенность поверхности прямо пропорциональна световому потоку и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника.

Тепловое излучение – наиболее распространенный вид излучения. При этом потери атомами или молекулами энергии на излучение света компенсируются за счет энергии их теплового движения. Чем выше температура тела, тем быстрее движутся атомы или молекулы. При столкновении друг с другом часть их кинетической энергии превращается в энергию возбуждения, которая затем превращается в световую.

Люминесцентное излучение исходит из сравнительно небольшого числа центров люминесценции – атомов, молекул или ионов, приходящих в возбужденное состояние под воздействием внешних причин, а затем, при переходе возбужденного центра на более низкий энергетический уровень, испускающих квант люминесцентного излучения. Вещества, в которых происходит люминесценция, называются люминофорами.

Электрические источники света, их конструкции и параметры

Электрическими источниками света являются лампы накаливания и газоразрядные.

Важнейшими характеристиками ламп являются:

- номинальное напряжение;
- потребляемая мощность;
- световой поток (мощность видимого излучения, измеряемая в люменах);
- средний срок службы.

Экономичность лампы оценивают *световой отдачей* – значением светового потока, приходящегося на единицу мощности лампы (лм/Вт). Для ламп накаливания световая отдача составляет 7 – 19 лм/Вт, для люминесцентных – 40 – 80 лм/Вт.

Лампа накаливания была изобретена А.Н. Лодыгиным в 1873 г. До сих пор нет устройства с подобным спектром излучения. По этой причине наблюдается широкое применение ламп накаливания. Принцип действия ламп накаливания основан на вышеописанном тепловом излучении. Использование этого принципа обуславливает основные недостатки ламп накаливания, а именно:

- низкий КПД (около 2 %), т.к. подавляющая часть потребляемой электроэнергии этими лампами преобразуется не в световую, а в тепловую энергию;
- низкий срок службы, который в среднем составляет около 1 000 ч, ограничиваемый сроком службы спирали, которая работает при высоких

температурах. Срок службы ламп накаливания снижается при их вибрациях, частых включениях и отключениях, отклонении от вертикального положения.

Кроме того, свет ламп накаливания отличается от естественного преобладанием лучей желто-красной части спектра, что искажает естественную расцветку предметов.

Несмотря на указанные недостатки в настоящее время лампы накаливания находят все еще широкое распространение в связи с их простотой в эксплуатации, надежностью, компактностью и низкой стоимостью.

Лампы накаливания могут быть вакуумными и газонаполненными. В последних используется аргон с добавлением 12 – 15 % азота.

Разновидностью ламп накаливания являются *галогенные лампы*, основное отличие которых заключается в повышенном сроке службы, как правило, до 2 000 ч. Это достигается за счет того, что в состав газового заполнения колбы галогенной лампы накаливания добавляется йод, который при определенных условиях обеспечивает обратный перенос испарившихся частиц вольфрама спирали со стенок колбы лампы на тепло накала.

Газоразрядные лампы отличаются более высокой светоотдачей, т.к. в них электрическая энергия преобразуется в энергию оптического излучения за счет электрического разряда в газах или парах металлов.

Люминесцентная лампа представляет собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. Из лампы откачан воздух, и она заполнена инертным газом аргоном при очень низком давлении. В лампу помещена капля ртути, которая при нагревании превращается в ртутные пары. Вольфрамовые электроды лампы, как правило, имеют вид спирали. Параллельно спирали располагаются два жестких никелевых электрода, каждый из которых соединен с одним из концов спирали. При подаче на электроды напряжения в газовой среде лампы возникает электрический разряд, в частности между жесткими электродами и спиралью, который дальше распространяется на всю полость лампы.

В цилиндрическом баллоне ртутной лампы идет электрический разряд. Возбужденные атомы ртути испускают мощные потоки электромагнитного излучения, основная энергия которого лежит в ультрафиолетовой части спектра. Под действием ультрафиолетового излучения происходит свечение покрытых люминофором стенок лампы разным цветом. Погло-

щая ультрафиолетовое излучение, смесь люминофоров излучает в видимой части спектра и в достаточной степени воспроизводит спектр дневного света.

Газоразрядные лампы работают со специальными пускорегулирующими аппаратами и подразделяются на люминесцентные лампы низкого и высокого давления.

Люминесцентные лампы меньше расходуют электроэнергии, срок их службы в 5 раз больше по сравнению с лампами накаливания. Однако лампы дневного света не вытеснили лампы накаливания, имеющие существенные недостатки. Создаваемый холодным свечением дискомфорт усугубляется стробоскопическим эффектом (мерцание ламп). Кроме того, пусковое устройство оборудования светильников производит шумы различной частоты, которые вызывают повышенную утомляемость организма. Дроссельная пускорегулирующая аппаратура обеспечивает возможность питания ламп дневного света от источников электротока частотой 50 Гц.

Одно из решений, устраняющих недостатки как ламп накаливания, так и люминесцентных ламп, – применение электронных пускорегулирующих устройств (ЭПРУ). Оно обеспечивает работу лампы дневного света со свечением частотой 30 – 40 кГц, что позволяет создавать энергоэкономичные системы внутреннего освещения. Сокращение расхода электроэнергии происходит в результате значительного повышения напряжения питания люминесцентных ламп при помощи ЭПРУ. Так, ЭПРУ обеспечивая частоту 30 – 40 кГц, обуславливает потребление лампой всего 9 Вт электрической мощности вместо 60 Вт, нужных для развития равной по величине светоотдачи ламп накаливания. Срок службы лампы возрастает до 8 000 ч.

В странах СНГ не менее 10 % вырабатываемой электроэнергии потребляется при освещении жилых и непромышленных служебных помещений лампами накаливания. С учетом вышеизложенного их повсеместная замена в указанных помещениях люминесцентными лампами позволит снизить требуемое количество вырабатываемой электроэнергии на 7 %. В частности, для Республики Беларусь при этом в абсолютных числах ежегодная экономия электроэнергии будет составлять не менее 4 млрд кВт·ч.

Экспериментальная установка

На рис. 12 приведена схема экспериментальной установки, которая включает: 1 – лампу накаливания; 2 – люминесцентную лампу, работаю-

щью с частотой 35 000 Гц; 3 – ваттметр для измерения потребляемой лампами из сети электрической мощности; 4 – выключатели; 5 – прибор для измерения освещенности люксметр типа ЛК-3.

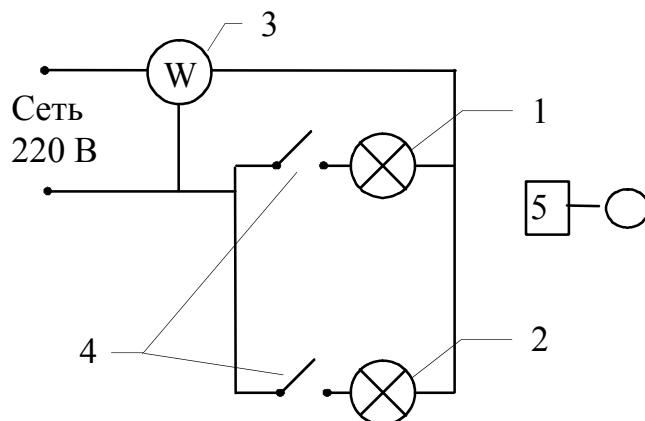


Рис. 12. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

1. Выключателем 4 включить лампу накаливания. Люксметром 5 измерить величину освещенности на поверхности включенного светильника в пяти точках.

2. По ваттметру 3 определить величину потребляемой лампой накаливания мощности из сети.

3. Выключить лампу накаливания.

4. Выключателем 4 включить люминесцентную лампу и произвести для нее аналогичные измерения.

5. Полученные данные занести в табл. 16. Исходные данные, необходимые для расчетов, приведены в табл. 17. (л.н. – лампа накаливания, л.л. – люминесцентная лампа).

6. Определить поверхность цилиндрического светильника (m^2) по формуле

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} + \pi \cdot d \cdot h,$$

где d – диаметр светильника, м, $d = 0,095$ м;

h – высота светильника, м, $h = 0,145$ м.

7. По результатам расчетов сделать вывод об экономичности рассмотренных источников света и целесообразности их использования.

Таблица 16

Результаты измерений и вычислений

Параметры		Включенный электрический источник света	
		лампа накаливания	люминесцентная лампа
Освещенность E (лк) на поверхности светильника, в точках	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
Расчетное значение освещенности $\bar{E} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5}{5}$, лк			
Расчетное значение светового потока $\Phi = \bar{E} \cdot S$, лм			
Поток излучения $\Phi_{изл} = \Phi / 217$, Вт			
Потребляемая мощность N , Вт			
кпд источника света $\eta = \frac{\Phi_{изл}}{N} \cdot 100$ %			
Плотность потока излучения (энергетическая освещенность) $E_{ЭН} = \frac{\Phi_{изл}}{S}$, Вт/м ²			
Световая отдача $C_o = \Phi / N$, лм/Вт			

Таблица 17

Исходные данные

Наименование параметра		Варианты заданий									
		I		II		III		IV		V	
		Л.Н.	Л.Л.	Л.Н.	Л.Л.	Л.Н.	Л.Л.	Л.Н.	Л.Л.	Л.Н.	Л.Л.
Освещенность E (лк) на поверхности светильника, в точках	1	1 700	700	1 850	850	2 000	1 000	2 400	1 200	2 700	1 400
	2	1 900	1 500	2 050	1 650	2 200	1 800	2 600	2 000	2 800	2 200
	3	1 800	1 050	1 950	1 200	2 100	1 350	2 500	1 550	3 200	1 750
	4	2 400	1 450	2 550	1 600	2 700	1 750	2 900	1 950	3 700	2 150
	5	2 500	1 875	2 650	2 025	2 800	2 175	3 300	2 350	3 860	2 575
Потребляемая мощность N , Вт		25	5	26	5,1	27	5,3	30	5,9	36	6,5

Практическое занятие № 8

**РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ПОМЕЩЕНИЙ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА**

Ключевые слова: энергетический аудит, комплексное энергетическое обследование, мероприятия по экономии энергии, система освещения,

уровень освещенности, осветительная установка, годовое потребление энергии, потенциал экономии электроэнергии, КПД светильников, энергоэффективная пускорегулирующая аппаратура.

Цель работы: определение установленной мощности и годового потребления электроэнергии на освещение помещения; расчет экономии электроэнергии при проведении различных мероприятий, направленных на снижение энергопотребления.

Общие сведения

В последнее время, в связи с ростом цен на энергоносители, актуальной становится проблема их экономии. Первым этапом процесса экономии энергии является проведение комплексного энергетического обследования объекта (энергетического аудита) и разработка на его основе экономически целесообразных мероприятий по экономии энергии. Данные мероприятия разрабатываются для каждого отдельного типа потребителя энергии: отопление, освещение, вентиляция, технологические процессы и т.п. Сначала проводится анализ состояния систем энергопотребления, а затем – расчет экономии энергии по определенным методикам.

Система освещения является весомым потребителем электроэнергии, особенно в административных зданиях, где расходуется на освещение до 80 % электроэнергии от общего потребления.

Для анализа состояния системы освещения обследуемого объекта необходимо собрать следующую информацию:

- тип и количество существующих светильников;
- тип, количество и мощность используемых ламп;
- режим работы системы искусственного освещения;
- характеристики поверхностей помещений (коэффициенты отражения);
- год установки светильников;
- периодичность чистки светильников;
- фактический и нормированный уровень освещенности;
- значения напряжения электросети освещения в начале и в конце измерений освещенности;
- размеры помещения;
- средний фактический срок службы ламп;
- фактическое и нормированное значение коэффициента естественной освещенности.

Затем производится расчет показателей энергопотребления на основании вышеперечисленных данных, полученных в результате инструментального обследования объекта.

Установленная мощность (кВт) равна

$$N_i = N_l \cdot K_{пра} \cdot n,$$

где N_i – мощность осветительной установки i -того помещения в обследуемом объекте;

N_l – мощность лампы;

$K_{пра}$ – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре осветительных приборов;

n – количество однотипных ламп в осветительной установке i -того помещения.

Годовое потребление электрической энергии (кВт) определяется по следующему выражению

$$W_2 = \sum W_{2i} = \sum N_i \cdot T_{2i} \cdot k_{ui},$$

где W_2 – суммарное годовое потребление электроэнергии;

W_{2i} – годовое потребление электроэнергии осветительной установкой (ОУ) i -того помещения;

T_{2i} – число часов работы системы i -того помещения в год;

k_{ui} – коэффициент использования установленной электрической мощности в ОУ i -того помещения.

Удельное годовое потребление электроэнергии (кВт·ч/м²) равно

$$W_{2yd} = W_2 / \sum S_i,$$

где W_{2yd} – годовое удельное потребление электроэнергии;

S_i – площадь i -того помещения в исследуемом объекте.

Для более точной оценки величины экономии электроэнергии по каждому из проводимых мероприятий необходимо выполнить расчет экономии электроэнергии по нижеприведенной методике.

Сначала определяем фактическое среднее значение освещенности E_ϕ (лк) с учетом отклонения напряжения в сети от номинального по выражению

$$E_\phi = E_u \cdot U_n / (U_n + k \cdot (U_n - U_{cp})),$$

где E_u – измеренная освещенность, лк;
 U_n – номинальное напряжение сети, В;
 U_{cp} – среднее фактическое значение напряжения, В;

$$U_{cp} = (U_1 + U_2) / 2$$

(U_1 и U_2 – значения напряжения сети соответственно в начале и конце измерения);

k – коэффициент учитывающий изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети ($k=4$ для ламп накаливания; $k=2$ для газоразрядных ламп).

Для учета отклонения фактической освещенности от нормативных значений определяем коэффициент приведения:

$$k_{n_i} = E_{\phi_i} / E_{n_i},$$

где k_{n_i} – коэффициент приведения освещенности i -того помещения;
 E_{ϕ_i} – фактическое значение освещенности в i -том помещении;
 E_{n_i} – нормируемое значение освещенности в i -том помещении.

Потенциал годовой экономии электроэнергии (кВт·ч/год) в осветительной установке обследуемого помещения рассчитывается по формуле

$$W_2 = \sum_i k_{n_i} \cdot \sum_k \Delta W_i^k,$$

где ΔW_i^k – потенциал экономии электроэнергии для i -того помещения и k -того мероприятия, кВт·ч/год.

К основным мероприятиям, позволяющим экономить электроэнергию, относятся:

1. Переход на другой тип источника света с более высокой светоотдачей.

Экономия электроэнергии (кВт·ч/год) в результате данного мероприятия определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{2_i} \cdot (1 - k_{uc_i}),$$

где k_{uc_i} – коэффициент эффективности замены типа источника света;

$$k_{uc_i} = C_o / C_{o_n},$$

где C_o – светоотдача существующего источника света, лм/Вт;

$C_{он}$ – светоотдача предлагаемого к установке источника света, лм/Вт.

2. Повышение кпд существующих осветительных приборов вследствие их чистки.

Экономия электроэнергии (кВт·ч/год) в результате данного мероприятия определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{zi} \cdot k_{ч_i},$$

где $k_{ч_i}$ – коэффициент эффективности чистки светильников.

Значение коэффициента эффективности чистки светильников определяется по выражению

$$k_{ч_i} = 1 - (\gamma_c + \beta_c \cdot e^{-(t/t_c)}),$$

где γ_c, β_c, t_c – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников (для рассматриваемой задачи принимаем $\gamma_c = 0,95, \beta_c = 0,054$ и $t_c = 360$);

t – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками, дн.

3. Установка энергоэффективной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА).

Экономия электроэнергии (кВт·ч/год) в результате данного мероприятия определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{zi} \cdot (1 - (K_{пра_i}^H / K_{пра_i})),$$

где $K_{пра_i}$ – коэффициент потерь в ПРА существующих светильников системы освещения i -того помещения;

$K_{пра_i}^H$ – коэффициент потерь в устанавливаемой ПРА.

4. Замена светильников является наиболее эффективным комплексным мероприятием, т.к. включает в себя замену ламп, повышение кпд светильника, оптимизацию светораспределения светильника и его расположения. Для точной оценки экономии электроэнергии необходимо производить светотехнический расчет освещенности для предполагаемых к установке светильников методом коэффициента использования или точечным методом. По расчетному значению установленной мощности (из светотехнического расчета) экономия электроэнергии (кВт·ч/год) определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{zi} - N_i^H \cdot T_{zi},$$

где N_i^H – установленная мощность после замены светильников;
 T_{z_i} – годовое число часов работы системы искусственного освещения i -того помещения.

При упрощенной оценке (при замене светильников на аналогичные по светораспределению и расположению) расчет производится по следующей формуле:

$$\Delta W_i = W_{z_i} \cdot (1 - k_{св_i}),$$

где $k_{св_i}$ – коэффициент, учитывающий повышение кпд светильника.

$$k_{св_i} = \eta_i / \eta_i^H,$$

где η_i – паспортный кпд существующих светильников;
 η_i^H – паспортный кпд предполагаемых к установке светильников.

В случае большого числа однотипных помещений в обследуемом здании, которое имеет схожие по параметрам, состоянию и мероприятиям по экономии электроэнергии осветительные установки, расчет производится с помощью удельных показателей экономии электроэнергии.

$$\Delta W_{y\partial}^j = \Delta W_i^j / S_i^j,$$

где $\Delta W_{y\partial}^j$ – удельная экономия электроэнергии для j -того типа помещения;

ΔW_i^j – расчетная экономия электроэнергии для i -того помещения;

S_i^j – площадь i -того помещения.

Общая экономия электроэнергии (кВт·ч) в системах освещения обследуемого объекта определяется по формуле

$$\Delta W_2 = \sum_{j=1}^m \Delta W_{y\partial}^j \cdot S^j,$$

где S^j – общая площадь помещений j -того типа;

m – количество типов помещений.

Пример решения задачи по расчету экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений

Задача 1. Административное здание 1986 г. постройки имеет систему освещения финансового отдела, оснащенную светильниками типа

ЛПО 02 2x40 с кпд $\eta = 52 \%$. В светильниках используются лампы типа ЛБ 40 со светоотдачей $C_o = 75$ лм/Вт; количество светильников $n = 15$ шт. Размеры помещения 5x15x3 м; нормированная освещенность $E_n = 300$ лк; измеренная освещенность $E_u = 275$ лк; количество часов работы искусственного освещения в год $T_z = 1\ 300$ ч; номинальное напряжение сети $U_n = 220$ В, а во время измерений оно изменялось от $U_1 = 230$ В до $U_2 = 190$ В; коэффициент использования установленной электрической мощности $k_u = 0,92$; на момент измерений прошло $t = 360$ дн. со дня последней чистки светильников.

В результате энергоаудита было рекомендовано заменить светильники на новые с электронной пускорегулирующей аппаратурой (ЭПРУ), коэффициентом потерь $K_{пра}^H = 1,1$ и кпд $\eta^H = 75 \%$, оборудованные люминесцентными лампами TL-D 36/84 со световой отдачей $C_{он} = 93$ лм/Вт.

Решение

1. Определим установленную мощность осветительной установки в помещении финансового отдела:

$$N = N_l \cdot K_{пра} \cdot n = 40 \cdot 1,2 \cdot (15 \cdot 2) = 1\ 440 \text{ Вт.}$$

Коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре осветительных приборов с люминесцентными лампами $K_{пра} = 1,2$.

2. Годовое энергопотребление в этом помещении равно

$$W_z = N \cdot T_z \cdot k_u = 1\ 440 \cdot 1\ 300 \cdot 0,92 = 1\ 772 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

3. Определим экономию электроэнергии ΔW_1 за счет перехода на люминесцентные лампы с более высокой светоотдачей:

$$\Delta W_1 = W_z \cdot (1 - k_{uc}) = W_z \cdot (1 - C_o / C_{он}) = 1\ 772 \cdot (1 - 75/93) = 337 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

4. Экономия электроэнергии ΔW_2 за счет чистки светильников:

- величина коэффициента эффективности чистки светильников равна (численные значения коэффициентов, входящих в выражение для определения k_u , приведены выше):

$$k_u = 1 - (\gamma_c + \beta_c \cdot e^{-(t/t_c)}) = 1 - (0,95 + 0,054 \cdot e^{-(360/360)}) = 1 - (0,95 + 0,02) = 0,03,$$

$$\Delta W_2 = W_z \cdot k_u = 1\ 772 \cdot 0,03 = 53 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

5. Определим экономию электроэнергии ΔW_3 вследствие установки электронной ПРА с коэффициентом потерь $K_{пра}^H = 1,1$:

$$\Delta W_3 = W_2 \cdot (1 - K_{пра}^H / K_{пра}) = 1772 \cdot (1 - 1,1/1,2) = 148 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

6. Определим экономию электроэнергии ΔW_4 за счет установки новых светильников с более высоким КПД, но с аналогичным светораспределением:

$$\Delta W_4 = W_2 \cdot (1 - k_{св}) = W_2 \cdot (1 - \eta / \eta^H) = 1772 \cdot (1 - 52/75) = 543 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

7. Определим фактическое среднее значение освещенности E_ϕ с учетом отклонения питающего напряжения в сети от номинальной величины:

- среднее фактическое значение напряжения за время измерения:

$$U_{cp} = (U_1 + U_2) / 2 = (230 + 190) / 2 = 210 \text{ В};$$

- фактическое среднее значение освещенности за время измерения:

$$E_\phi = E_u \cdot U_n / (U_n + k \cdot (U_n - U_{cp})) = 275 \cdot 220 / (220 + 2 \cdot (220 - 210)) = 252 \text{ лк.}$$

8. Общий потенциал годовой экономии электроэнергии W_2 в осветительной установке финансового отдела составит

$$\begin{aligned} W_2 &= k_n \cdot \sum \Delta W_i = \frac{E_\phi}{E_n} \cdot (\Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_4) = \\ &= \frac{252}{300} \cdot (337 + 53 + 148 + 543) = 908 \text{ кВт ч/год.} \end{aligned}$$

Задача для самостоятельного решения

Задача 2. Административное здание имеет систему освещения помещений, оснащенную светильниками типа ЛПО 02 2x40 с КПД $\eta = 52\%$. Коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре $K_{пра} = 1,2$. Светильники работают от электросети с номинальным напряжением $U_n = 220 \text{ В}$. В светильниках используются лампы типа ЛБ 40 со светоотдачей $C_o = 75 \text{ лм/Вт}$. Коэффициент использования установленной электрической мощности $k_u = 0,92$.

Количество светильников в обследуемом помещении n штук; нормированная освещенность равна E_n лк, а измеренная – E_u лк. Количество

часов работы искусственного освещения в год равно T_2 ч. Напряжение в электросети во время измерений освещенности изменялось от величины U_1 до U_2 В; на момент измерений прошло t дней со дня последней чистки светильников.

В результате энергоаудита было рекомендовано заменить светильники на новые, имеющие кпд, равный η^H , электронную пускорегулирующую аппаратуру (ЭПРУ) с коэффициентом потерь, равным $K_{пра}^H$, а также оборудованные люминесцентными лампами со световой отдачей $C_{он}$.

Исходные данные, необходимые для расчетов, представлены в табл. 18. Условные обозначения, используемые в задаче 2, одинаковы с задачей 1.

Таблица 18

Исходные данные для расчета

Параметр	Размерность	Варианты				
		I	II	III	IV	V
E_n	лк	300	350	400	350	450
E_u	лк	250	300	320	280	380
n	шт.	15	17	20	16	23
U_1	В	220	220	235	230	225
U_2	В	200	210	200	190	195
$C_{он}$	лм/Вт	90	85	93	95	100
t	дн.	150	200	300	200	350
$K_{пра}^H$	–	1,05	1,10	1,15	1,12	1,08
η^H	%	70	75	80	85	78
T_2	ч	1 400	1 500	1 600	1 450	1 550

ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Энергия, ее виды и источники. Закон сохранения энергии.
2. Энергетические ресурсы. Классификация.
3. Энергетика, ее классификация. Энергетические цепочки.
4. Пассивные и активные, прямые и косвенные методы энергосбережения.
5. Энергосбережение, основные мероприятия по рациональному использованию ТЭР.
6. Энергетический менеджмент, его цели и основные элементы.
7. Топливо. Характеристики органического топлива: состав, высшая и низшая теплота сгорания.
8. Процесс термической переработки органического топлива. Коэффициент избытка воздуха. Условное топливо.
9. Топка. Тепловой баланс топки. Энергетические характеристики топок.
10. Виды топок.
11. Котлы и печи.
12. Виды электростанций. ТЭС, их виды и схемы.
13. Процесс производства электроэнергии на ТЭС.
14. ГТУ. Преимущества ТЭС с ГТУ и ее роль в энергосистеме.
15. Парогазовые установки.
16. Принципы производства энергии на АЭС.
17. Графики нагрузки.
18. Возобновляемые источники энергии, их особенности и практическое значение для Беларуси.
19. Ветроэнергетика.
20. Гелиоэнергетика. Производство тепла.
21. Гелиоэнергетика. Производство электрической энергии.
22. Биоэнергетика. Способы переработки биомассы.
23. Гидроэнергетика.
24. Геотермальные ресурсы, морская энергетика.
25. Аккумуляция энергии. Принцип действия ГАЭС.
26. Транспорт первичных энергоресурсов.
27. Транспорт теплоты и электрической энергии.
28. Вторичные энергоресурсы (ВЭР). Выход ВЭР, возможная выработка энергии за счет ВЭР.
29. Вторичные энергоресурсы, классификация, основные направления использования.
30. Способы утилизации горючих ВЭР и ВЭР избыточного давления.
31. Способы утилизации тепловых ВЭР.
32. Тепловая труба, устройство, принцип действия.
33. Тепловые насосы, принцип действия.
34. Эффективное использование электроэнергии. Искусственное освещение.

35. Эффективное использование электроэнергии. Электропривод.
36. Эффективное использование электроэнергии. Электротермические установки.
37. Приближенный метод расчета потерь тепла в зданиях и сооружениях.
38. Основные направления повышения эффективности использования энергии в зданиях.
39. Экологические аспекты энергосбережения.
40. Формы учета энергии.
41. Измерение массы, давления и температуры энергоресурсов.
42. Определение расхода энергоносителей.
43. Регулирование потребления энергии.
44. Энергетическое хозяйство предприятий.
45. Энергетический менеджмент, его функции.
46. Энергетический аудит, цели и задачи.
47. Схема проведения энергетического аудита.
48. Классификация энергосберегающих мероприятий и технологий.
49. Энергетические балансы предприятий, их виды.
50. Электробалансы, их виды и цель.
51. Нормы расхода ТЭР, порядок и методы их разработки.
52. Классификация норм расхода ТЭР.
53. Энергоэкономические показатели.
54. Классификация организационно-технических мероприятий по экономии ТЭР.
55. Виды инвестиционных проектов. Основные стадии проектного цикла.
56. Проектные риски, их виды.
57. Анализ проектных рисков, способы снижения рисков.
58. Схемы и источники финансирования инвестиционных проектов.
59. Упрощенные методы оценки инвестиционных проектов.
60. Применение методов дисконтирования для оценки инвестиционных проектов.
61. Нормативно-правовая база энергосбережения.
62. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении».
63. Информационная деятельность в области энергосбережения.
64. Зарубежный опыт в области энергосбережения.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Андрижиевский, А.А. Энергосбережение и энергетический менеджмент / А.А. Андрижиевский, В.И. Володин. – 2-е изд., испр. – Минск: Выш. шк., 2005. – 294 с.
2. Самойлов, М.В. Основы энергосбережения: учеб. пособие / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. – Минск: БГЭУ, 2002. – 198 с.
3. Пospelова, Т.Г. Основы энергосбережения / Т.Г. Пospelова. – Минск: УП «Технопринт», 2000. – 353 с.

Дополнительная

1. Об энергосбережении: Закон Респ. Беларусь // Энергоэффективность. – 1998. – № 7. – С. 2 – 5.
2. Беляев, В.М. Основы энергосбережения: учеб.-метод. комплекс / В.М. Беляев, В.В. Ивашин. – Минск: Изд-во МИУ, 2004. – 124 с.
3. Голицын, М.В. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина; отв. ред. Г.С. Голицын. – М.: Наука, 2004. – 159 с.
4. Абаев, Г.Н. Ресурсосбережение, энергосбережение и компьютеризация в химической промышленности: курс лекций / Г.Н. Абаев, Р.А. Андреева. – Новополоцк: ПГУ, 2005. – 152 с.
5. Михалевич, А.А. Введение в энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент: учеб. пособие для студентов вузов / А.А. Михалевич. – Минск: БГТУ, 2002. – 267 с.
6. Хутская, Н.Г. Основы энергосбережения: цикл лекций / Н.Г. Хутская, Ю.А. Волков; под ред. Н.Г. Хутской. – Минск: Тэхналогія, 1999.
7. Галимова, Л.В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы: учеб. пособие для спец. «Техника и физика низких температур» / Л.В. Галимова. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 1997. – 226 с.
8. Щукин, А.А. Промышленные печи и газовое хозяйство заводов: учебник для вузов / А.А. Щукин. – Изд. 2-е, перераб. – М.: Энергия, 1973. – 224 с.

Учебное издание

ЖАРКОВА Ольга Николаевна

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

Учебно-методический комплекс
для студентов специальности 1-36 07 01
«Машины и аппараты химических производств
и предприятий строительных материалов»

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Дизайн обложки *В. А. Виноградовой*

Подписано в печать 17.08.10. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 14,39. Уч.-изд. л. 14,16. Тираж 50 экз. Заказ 1335.

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.09

ЛП № 02330/0494256 от 27.05.09

Ул. Блохина, 29211440, г. Новополоцк.