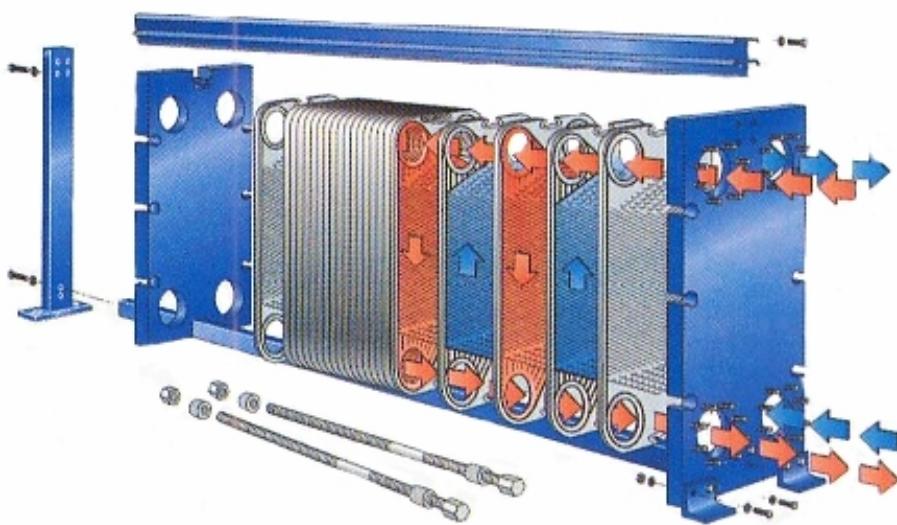
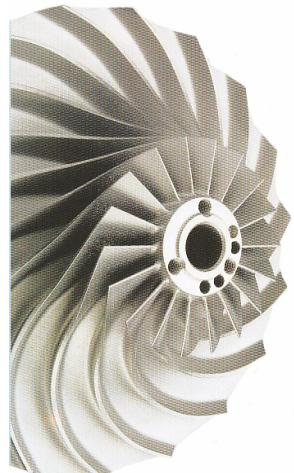


ОЛЬШАНСКИЙ А.И.  
ОЛЬШАНСКИЙ В.И.  
БЕЛЯКОВ Н.В.

# ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

**ОЛЬШАНСКИЙ А.И. ОЛЬШАНСКИЙ В.И.  
БЕЛЯКОВ Н.В.**

**ОСНОВЫ  
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

*Рекомендовано учебно-методическим объединением высших учебных заведений Республики Беларусь по химико-технологическому образованию в качестве пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-50 01 01 «Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов»*

**ВИТЕБСК  
2009**

**УДК 620.9(075.8)**

**ББК 31**

**О 56**

**Рецензенты:**

профессор УО «Белорусский государственный технологический университет», д.т.н. А. А. Андрижьевский;

заведующий кафедрой энергосбережения и возобновляемых энергетических ресурсов УО «Белорусский национальный технический университет» д.т.н., проф. В.Г. Баштовой;

академик НАНБ, д.т.н., проф. В.В. Клубович

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским Советом УО «ВГТУ» протокол № 1 от «12» февраля 2009г.

**Ольшанский, А. И. Основы энергосбережения / А. И. Ольшанский, В. И. Ольшанский, Н. В. Беляков ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2009. – 192 с.**

**ISBN 978-985-481-148-2**

В пособии приводится информация для принятия и внедрения энергоэффективных мероприятий и решений в промышленности. Особое внимание уделяется вторичным энергетическим ресурсам текстильной и легкой промышленности и способам их утилизации. Проанализированы энергетические ресурсы мира и Республики Беларусь. Рассмотрены понятия: топливно-энергетического комплекса, станции преобразования энергии, графиков нагрузки. Описаны нетрадиционные возобновляемые источники энергии, вопросы транспорта и распределения энергии, ценового и тарифного регулирования, нормирования энергопотребления, а также основные правовые и нормативные документы в области энергосбережения, программы по энергосбережению, некоторые технические направления энергосбережения в Республике Беларусь. Приводятся основы энергетического менеджмента и аудита. Уделено внимание вопросам эффективного использования энергии в различных секторах промышленных и жилых объектов, а также вопросам экологии при энергосбережении.

Настоящее пособие предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 1-50 01 01 «Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов» Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

**УДК 620.9(075.8)**

**ББК 31**

**О 56**

**ISBN 978-985-481-148-2**

© А.И. Ольшанский, В.И. Ольшанский  
Н.В. Беляков 2009  
© УО «ВГТУ», 2009

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие.....</b>	6
<b>1. Введение в дисциплину. Энергетические ресурсы мира и РБ. ТЭК.....</b>	7
1.1. Понятия энергии, энергетических ресурсов, топлива.....	7
1.2. Качество энергии и энергетических ресурсов.....	9
1.3. Невозобновляемые энергетические ресурсы Республики Беларусь....	10
1.4. Эффективность использования и потребления энергии в различных странах и в Республике Беларусь.....	12
1.5. Топливно-энергетический комплекс .....	13
Контрольные вопросы.....	16
<b>2. Традиционные станции преобразования энергии.....</b>	17
2.1. Тепловые, атомные и гидро электростанции.....	17
2.2. Газотурбинные и парогазовые установки.....	21
2.3. Графики нагрузки.....	23
Контрольные вопросы.....	25
<b>3. Приоритетные технические направления энергосбережения в Республике Беларусь.....</b>	26
3.1. Малые и мини-ТЭЦ, повышение эффективности котельных.....	26
3.2. Автоматизация управления производственными процессами.....	29
3.2.1. Общие положения.....	29
3.2.2. Классификация подсистем автоматизации.....	31
3.2.3. Понятие автоматического регулирования .....	34
3.2.4. Первичный приборный учет.....	35
3.2.5. Автоматизированные системы контроля и управления энергообъектами.....	37
3.3. Приоритетные направления энергосбережения в промышленных отраслях.....	39
Контрольные вопросы.....	44
<b>4. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии.....</b>	45
4.1. Перспективы нетрадиционных возобновляемых источников энергии.....	45
4.2. Биологическая энергия.....	46
4.3. Гидроэнергетические ресурсы и ветроэнергетика.....	50
4.4. Солнечная энергия.....	53
4.5. Геотермальные ресурсы .....	58
4.6. Твердые бытовые отходы.....	58
Контрольные вопросы.....	59
<b>5. Транспорт и распределение энергии .....</b>	60
5.1. Транспортировка теплоты.....	60
5.2. Теплоносители.....	63
Контрольные вопросы.....	66

<b>6. Вторичные энергетические ресурсы.....</b>	67
6.1. Основные понятия и определения.....	67
6.2. Утилизация низкотемпературных и высокотемпературных ВЭР в промышленности.....	68
6.2.1. Теплообменные аппараты для утилизации вторичных энергоресурсов.....	68
6.2.2. Теплообменные аппараты для утилизации высокотемпературных ВЭР.....	71
6.2.3. Теплообменные аппараты для утилизации низкопотенциальных ВЭР.....	76
6.3. Эффективность использования ВЭР и экономия топлива за счет их использования.....	84
6.4. Вторичные энергетические ресурсы в теплотехнических процессах и аппаратах текстильной и легкой промышленности.....	91
6.4.1. Общие вопросы.....	91
6.4.2. Теплотехнологические агрегаты текстильной и легкой промышленности – источники ВЭР.....	94
6.4.3. Анализ основных видов тепловых вторичных энергетических ресурсов в текстильной промышленности.....	105
6.4.4. Примеры расчета технологии утилизации основных тепловых ВЭР текстильной промышленности. Оценка потенциала энергосбережения от использования ВЭР .....	110
6.5. Некоторые примеры экономии тепловой энергии за счет использования ВЭР.....	120
Контрольные вопросы.....	123
<b>7. Ценовое и тарифное регулирование. Нормирование энергопотребления. Потенциал энергосбережения .....</b>	124
7.1. Виды систем тарифов на электроэнергию.....	124
7.2. Тарифы на природный газ и тепловую энергию.....	127
7.3. О нормировании энергопотребления.....	128
7.4. Потенциал энергосбережения.....	131
Контрольные вопросы.....	133
<b>8. Основные правовые и нормативные документы в области энергосбережения. Управление ТЭК. Программы по энергосбережению .....</b>	134
8.1. Закон «Об энергосбережении».....	134
8.2. Структура управления ТЭК и системой энергосбережения Республики Беларусь.....	137
8.3. Республиканские отраслевые и региональные программы по энергосбережению.....	141
Контрольные вопросы.....	146
<b>9. Основы энергетического менеджмента и аудита .....</b>	146
9.1. Понятие энергетического менеджмента.....	146
9.2. Энергетический баланс.....	147

9.3. Энергетические аудиты и обследования.....	149
Контрольные вопросы.....	156
<b>10. Вопросы эффективного использования энергии в различных секторах промышленных и жилых объектов.....</b>	<b>156</b>
10.1. Энергосбережение в зданиях.....	156
10.2. Энергосбережение при освещении.....	161
10.3. Теплоснабжение.....	167
10.3.1. Реконструкция и модернизация систем централизованного теплоснабжения.....	167
10.3.2. Децентрализация и регулирование теплоснабжения.....	169
10.3.3. Теплоснабжение производственных зданий.....	172
10.4. Экономия энергии в быту.....	174
Контрольные вопросы.....	178
<b>11. Энергосбережение и экология .....</b>	<b>179</b>
11.1. Экологические проблемы, связанные с работой ТЭС, ГЭС, транспорта.....	179
11.2. Специфические экологические проблемы ядерной энергетики.....	183
11.3. Парниковый эффект.....	186
11.4. Экологические эффекты энергосбережения.....	188
Контрольные вопросы.....	190
<b>Список использованных источников.....</b>	<b>191</b>

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Среди важнейших проблем, поставленных наукой и практикой, особое место занимает проблема энергосбережения. Энергосбережение в народном хозяйстве Республики Беларусь поднято на уровень государственной политики. Главные направления и важнейшие мероприятия по развитию топливно-энергетического комплекса страны и повышению эффективности энергопользования отражены в законе Республики Беларусь «Об энергосбережении» и закреплены энергетической программой до 2010 года.

Энергосберегающая политика имеет особо важное значение для отраслей промышленного производства, основанных на теплотехнологии с большой энергоемкостью и с низким уровнем полезного использования топлива. Во многих отраслях легкой промышленности имеются особо крупные резервы экономии топлива и тепла и возможности их практической реализации. Значительное место занимает проблема рационального использования вторичных энергетических ресурсов.

Дисциплина «Основы энергосбережения» введена в учебные планы высших учебных заведений. Поставлена задача качественно нового уровня образования инженерного корпуса в области энергосбережения с учетом современных задач государства.

Пособие представляет собой содержание курса «Основы энергосбережения и энергетического менеджмента» и содержит все разделы, отраженные государственной учебной программой «Основы энергосбережения». Цель учебного пособия – связать основы энергосбережения как общетехническую дисциплину с их практическим применением в работе инженера и дать конкретные знания для принятия и внедрения энергоэффективных мероприятий и решений, сформировать у будущих специалистов важность понимания энергосбережения как обязательного процесса, как системы при осуществлении своей деятельности и реализации своего интеллектуального потенциала.

Учебное пособие предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 1-50 01 01 «Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов» Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

# **1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ.**

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ МИРА И РБ.**

## **ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

### **1.1. Понятия энергии, энергетических ресурсов, топлива**

Согласно представлениям физической науки, *энергия – это способность тела или системы тел совершать работу*. Существуют различные классификации видов и форм энергии. Так в зависимости от уровня проявления выделяют энергию макромира – гравитационную, энергию взаимодействия тел – механическую, энергию молекулярных взаимодействий – тепловую, энергию атомных взаимодействий – химическую, энергию излучения – электромагнитную, энергию, заключенную в ядрах атомов – ядерную. Современная наука не исключает существование и других видов энергии, пока не зафиксированных, но не нарушающих единую естественнонаучную картину мира и понятие об энергии.

В Международной системе единиц СИ в качестве единицы измерения энергии принят 1 Джоуль (Дж). 1 Дж эквивалентен 1 ньютон метр (Н м). Если расчеты связаны с теплотой, биологической и многими другими видами энергии, то в качестве единицы энергии применяется внесистемная единица - калория (кал) или килокалория (ккал), 1кал = 4,18 Дж. Для измерения электрической энергии пользуются такой единицей, как Ватт час (Вт ч, кВт ч, МВт ч), 1 Вт ч = 3,6 МДж. Для измерения механической энергии используют величину 1 кг м = 9,8 Дж.

*Энергетические ресурсы* – это объекты, в которых сосредоточена энергия, пригодная для практического использования человеком. В настоящее время основными потребляемыми энергетическими ресурсами являются *природные топлива* и энергия потоков воды [1].

Предварительно преобразованный энергетический ресурс, непосредственно используемый на стадии конечного потребления, а также природный энергетический ресурс, потребляемый на этой стадии, называются *энергоносителями* (природный газ, мазут, горячая вода и пар в системах теплоснабжения и др.) [1].

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

Вторичный энергоресурс (ВЭР) - энергоресурс, получаемый в виде побочного продукта основного производства или являющийся таким продуктом. Фактически ВЭР являются отходами производства (см. глава 6).

Различают невозобновляемые и возобновляемые энергоресурсы. **Невозобновляемые энергоресурсы** – это те, которые ранее были накоплены в природе и в новых геологических условиях практически не образуются. К ним относятся ископаемые топлива и продукты их переработки: каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть, природный и попутный газ, уран, а также отходы некоторых производств: металлургической промышленности, процессов химической и

термохимической переработки углеродистого и углеводородного сырья и т.д.

**Возобновляемые энергоресурсы** – те, восстановление которых постоянно осуществляется в природе. Это энергия солнца, ветра, тепловая энергия Земли, энергия морей и океанов, рек, биомассы (растений и животных).

*Природные топлива* подразделяются на следующие четыре группы:

- твердое;
- жидкое;
- газообразное;
- ядерное.

К твердому виду топлива относят:

- древесину, другие продукты растительного происхождения;
- уголь (с его разновидностями: каменный, бурый);
- торф;
- горючие сланцы.

**Ископаемые твердые топлива** (за исключением сланцев) являются продуктом разложения органической массы растений. Самый молодой из них *торф*, представляющий собой плотную массу, образованную из перегнивших остатков болотных растений. Следующими по «возрасту» являются *бурые угли* – землистая или черная однородная масса, которая при длительном хранении на воздухе частично окисляется (выветривается) и рассыпается в порошок. Затем идут *каменные угли*, обладающие, как правило, повышенной прочностью и меньшей пористостью. Органическая масса наиболее старых из них – *антрацитов* претерпела наибольшие изменения и на 93 % состоит из углерода. Антрацит отличается высокой твердостью.

*Горючие сланцы* представляют собой полезное ископаемое из группы твердых каустобиолитов, дающее при сухой перегонке значительное количество смолы, близкой по составу к нефти.

**Жидкие виды топлива** получают путем переработки нефти. Сырую нефть нагревают до 300 ... 370°C, после чего полученные пары разгоняют на фракции, конденсирующиеся при различной температуре:

- сжиженный газ (выход около 1 %);
- бензиновую (около 15%,  $t_K = 30 \dots 180^\circ\text{C}$ );
- керосиновую (около 17%,  $t_K = 120 \dots 135^\circ\text{C}$ );
- дизельную (около 18%,  $t_K = 180 \dots 350^\circ\text{C}$ ).

Жидкий остаток с температурой начала кипения 330 ... 350 °C называется *мазутом*.

**Газообразными видами топлива** являются *природный газ*, добываемый как непосредственно, так и попутно с добычей нефти, называемый *попутным*. Основным компонентом природного газа является метан  $\text{CH}_4$  и в небольшом количестве азот  $\text{N}_2$ , высшие углеводороды  $\text{C}_n\text{H}_m$ , двуокись углерода  $\text{CO}_2$ . Попутный газ содержит меньше метана, чем природный, но больше высших углеводородов, и поэтому выделяет при сгорании больше теплоты.

В промышленности и, особенно в быту, находит широкое распространение *сжиженный газ*, получаемый при первичной переработке нефти. На металлур-

гических заводах в качестве попутных продуктов получают *коксовый и доменный газы*. Они используются здесь же на заводах для отопления печей и технологических аппаратов. В районах расположения угольных шахт своеобразным «топливом» может служить *метан*, выделяющийся из пластов при их вентиляции. Газы, получаемые путем газификации (*генераторные*) или путем сухой перегонки (нагрев без доступа воздуха) твердых топлив, в большинстве стран практически вытеснены *природным газом*, однако в настоящее время снова возрождается интерес к их производству и использованию.

В последнее время все большее применение находит *биогаз* – продукт аэробной ферментации (сбраживание) органических отходов (навоза, растительных остатков, мусора, сточных вод и т. д.).

*Ядерным топливом* является *уран*. Об эффективности использования его показывает работа первого в мире атомного ледокола «Ленин» водоизмещением 19 тыс. т, длиной 134 м, шириной 23,6 м, высотой 16,1 м, осадкой 10,5 м, со скоростью 18 узлов (около 30 км/ч). Он был создан для проводки караванов судов по Северному морскому пути, толщина льда по которому достигала 2 и более метров. В сутки он потреблял 260-310 граммов урана. Дизельному ледоколу для выполнения такого же объема работы, которую выполнял ледокол «Ленин», потребовалось бы 560 т дизтоплива.

Анализ оценки обеспеченности ТЭР показывает, что наиболее дефицитным видом топлива является нефть. Ее хватит по разным источникам на 40-250 лет. Затем, через 35-64 года, истощаются запасы горючего газа и урана. Лучше всего обстоит дело с углем, запасы которого в мире достаточно велики, и обеспеченность углем составит 218-2000 лет.

## 1.2. Качество энергии и энергетических ресурсов

*Качество различных видов энергии оценивается эксергией – величиной, определяющей максимальную способность материи к совершению работы в таком процессе, конечное состояние которого определяется условиями термодинамического равновесия с окружающей средой.*

*Для оценки практической пригодности энергии, содержащейся в материи, важно знать не только количество эксергии, но и концентрацию, т.е. отношение эксергии к объему термодинамического агента (энергоносителя). Чем выше концентрация эксергии, т. е. плотность энергопотока, тем лучше показатели сооружения и эксплуатации энергетических установок. Очевидно, что 1 Дж энергии в виде электричества имеет большую ценность для потребителя, чем 1 Дж в виде низкотемпературного тепла, например, горячей воды. А такой энергоноситель, как лазерный поток, имеет еще больший эксергатический показатель.*

Немногим более половины всей потребляемой энергии используется в виде тепла для технических нужд, отопления, приготовления пищи, оставшаяся часть – в виде механической, прежде всего в транспортных установках, и элек-

трической энергии. Причем доля электрической энергии с каждым годом растет.

*Удельной энергоемкостью энергетического ресурса называется количество энергии, приходящееся на единицу массы физического тела энергоресурса.*

Для удобства сопоставления различных видов энергоресурсов и возможности расчетов расход всех видов топлива сравнивается с расходом так называемого **условного топлива**. За условное принято такое топливо, при сгорании 1 кг которого выделяется  $29,3 \cdot 10^6$  Дж, или 7000 ккал энергии. В табл. 1.1 приведены значения удельной энергоёмкости для ряда энергетических ресурсов в сравнении с условным топливом.

Таблица 1.1.

Значения удельной энергоёмкости для ряда энергетических ресурсов в сравнении с условным топливом.

Виды топлива	Условное топливо	Уголь антрацит	Дрова сухие	Нефть	Газ пропан	Водород
Уд. энергоемкость, $10^6$ Дж/кг	29,3	33,5	10,5	41,9	46,1	120,6
ккал/кг	7000	8000	2500	10000	11000	28800

Видно, что высокой энергоемкостью обладают газ и нефть, что во многом и определило их хищническое потребление.

### 1.3. Невозобновляемые энергетические ресурсы Республики Беларусь

Мировые запасы ископаемого топлива являются ограниченными. При уровне мировой добычи 1990-х гг. соответственно (млрд т у.т.): уголь 3,1; нефть - 4,5 и природный газ - 2,6 (всего - 10,2), запасов угля хватит на 1560, нефти - на 250 и природного газа - на 120 лет. Таким образом, запасы ископаемого топлива конечны. По мере их исчерпания цены на ископаемое топливо будут непрерывно расти.

В Республике Беларусь собственные топливно-энергетические ресурсы представлены: **древесиной; нефтью; торфом; бурым углем; горючими сланцами.**

Общие запасы **древесины** в стране оцениваются примерно в  $1093,2$  млн  $m^3$ , что составляет около 1 % запасов древесины СНГ. Лесистость территории – 38 %. Запас спелого древостоя составляет около  $74,7$  млн  $m^3$ . На душу населения приходится 0,6 га леса и  $93 m^3$  запасов древесины. Средний возраст древостоя – 40 лет, средний прирост –  $3,7 m^3$  на 1 га; средний запас на 1 га в спелых лесах –  $205 m^3$ . Основная часть лесов (45 %) приходится на Гомельскую и Минскую области.

Значение древесины в топливном балансе страны пока незначительно, по-

скольку начавшаяся в 1960 г. и продолжающаяся ныне повсеместная газификация вытеснила древесину как вид топлива, а работающие на отходах котельные деревообрабатывающих предприятий были переведены на газ. В последнее время в связи с возникшими проблемами в использовании дорогостоящего покупного топлива, и, в первую очередь, газа, на древесное топливо, особенно на отходы деревообработки, переходит все больше субъектов хозяйствования.

Основной *нефтегазоносной территорией* Беларуси является Припятский прогиб. Известно более 60 месторождений, крупнейшее из которых - Речицкое эксплуатируется с 1965 года.

С начала промышленной разработки нефти (1965 г.) в стране добыто 100 млн т. В настоящее время ежегодно добывается около 1,8 млн т нефти. РУП «Объединение «Беларуснефть» - единственное нефтедобывающее республиканское унитарное предприятие - имеет 508 эксплуатационных скважин. Бурением пройдено 18,531 млн м горных пород. Разведанные запасы нефти составляют около 80 млн т, газоконденсата - 0,44 млн т, попутного газа – 9734 млн м.<sup>3</sup>

Годовая потребность Республики Беларусь в нефти составляет 16-18 млн т, а собственные ресурсы составляют всего лишь 9-10 %. Остальное количество нефтепродуктов в республику поставляет около 70 субъектов хозяйствования .

Наиболее распространенным видом местного топлива в Беларуси является *торф*. Торфяные отложения имеются практически во всех регионах. По запасам торфа (первичные запасы составляли 5,65 млрд т, оставшиеся геологические оцениваются в 4,3 млрд т) Беларусь занимает второе место в СНГ, уступая только России. Разведано более 9000 месторождений торфа общей площадью в границах промышленной глубины 2,54 млн га. В последнее время годовая добыча составляет 27-30 млн т. Наиболее богатые залежи его находятся в Брестской, Витебской, Могилевской областях, в которых геологический запас торфа составляет около 68 % от общего запаса в стране. Основными месторождениями торфа являются Светлогорское, Василевичское, Лукское (Гомельская обл.), Березинское, Смолевичское (Минская обл.), Березовское (Гродненская обл.), Даблевский Мох, Усвиж Бук, Витебское (Витебская обл.). На базе этих месторождений были в свое время построены крупные электростанции: Василевичская, Смолевичская ГРЭС и др. или крупные торфобрикетные заводы.

Месторождения *бурового угля* находятся, так же, как и нефть, в Припятском прогибе. Прогнозные ресурсы его на глубине 600 м оцениваются в 410 млн т, в т. ч. мощностью пласта от 0,7 м и более - 294 млн т. Имеющиеся запасы *бурых углей* пригодны для использования после брикетирования с торфом, однако их добыча нецелесообразна, т. к. экологический ущерб превысит полученные результаты.

В настоящее время наиболее изученными являются *неогеновые угли* (залегают на глубине 20-80 м) трех месторождений: Житковического, Бриневского и Тонежского с общими запасами 152 млн т (37 млн т у. т.), промышленными - 121 млн т (29,5 млн т у. т.) На Житковичском месторождении подготовлены для промышленного освоения два месторождения с общими запасами 46,7 млн т (11,4 млн т у. т.), что позволяет проектировать строительство разреза мощно-

стью в 2 млн т (488 т у. т.)<sup>3</sup>. В последние годы на юге Беларуси (Лельчицкий район) открыто относительно большое месторождение - Букчинское, которое в будущем может иметь промышленное значение.

Разведанные запасы угля пока не разрабатываются, поскольку уголь залегает на большой глубине, мощность его пластов небольшая.

Залежи **горючих сланцев** в Беларуси находятся на юге республики (Туровское месторождение в Гомельской области, Любанско - в Солигорском и Любанско районах Минской области), и открыты они в 1963 г. Прогнозные запасы составляют 11 млрд т, в т. ч. промышленные на глубине 300 м - 3,6 млрд т, что соответствует 792 млн т у. т. Наиболее изученным является Туровское месторождение. Добыча горючих сланцев в объеме имеющихся запасов 11 млрд т, поскольку стоимость получаемых продуктов выше мировых цен на нефть.

Прогнозируемые объемы годовой добычи местных видов топлива составляют:

- нефть, млн т: 2000 г. (факт) 2015 г. - 1,102;
- попутный газ, млн м<sup>3</sup>; 2005 г. - 230; 2015 г. - 180;
- торф, 1 млн т у. т./год (на весь рассматриваемый период);
- дрова, предусматривается увеличение заготовок и использования с 1,3 млн т у. т. в 2000 г. до 1,9-2,0 млн т у. т. в 2015 г.

#### **1.4. Эффективность использования и потребления энергии в различных странах и в Республике Беларусь**

Энергоемкость продукции наших предприятий значительно выше, чем в индустриально развитых странах. Так, например, при получении 1 т извести у нас тратится электроэнергии в 5,5 раза больше, чем на Западе, серной кислоты – в 2,7, железобетона в 1,7 раза. На каждый Доллар США произведенной в республике продукции расходуется 1,4 кг условного топлива, тогда как в странах ЕС – 0,81 кг. Правда, следует учитывать, что климат в нашей стране более холодный, что обуславливает и больший расход ТЭР на обогрев производственных зданий и жилищно-бытового сектора.

По данным Международного энергетического агентства, показатели энергоемкости ВВП в 2005 году (в ценах 2000 года по паритету покупательной способности) составляли:

в Республике Беларусь – 430 кг нефтяного эквивалента (н.э.) на 1000 долл. ВВП

в России – 490 кг н.э. на 1000 долл.

в Украине – 500 кг н.э. на 1000 долл.

В то же время в промышленно развитых странах со схожими климатическими условиями эти показатели составляли:

в Канаде – 280 кг н.э. на 1000 долл.

в Финляндии – 260 н.э. на 1000 долл.

Отечественная промышленность по удельным расходам топлива и электро-

энергии пока весьма далека от европейских стандартов. Не лучшее положение с энергоемкостью и в агропромышленном комплексе. Энергоемкость нашей сельхозпродукции в 3-5 раз выше, чем в развитых странах. Так, на 1 т говядины тратится 550 кВт $\times$ ч электроэнергии, на одну тонну свинины – в 2,5 раза больше. Совокупный расход энергоресурсов в производстве 1 тонны зерна составляет 28-30 кг условного топлива.

Такие высокие удельные расходы топлива и электроэнергии явились следствием существовавшей в условиях *командно-административной* системы практики разработки самими производителями (предприятиями) или отраслевыми организациями норм расхода топлива, тепла, электроэнергии и сырья на выпуск той или иной продукции. Затем эти нормы утверждались отраслевыми министерствами. Каждая отраслевая организация стремилась любым путем обеспечить своему ведомству режим «наибольшего благоприятствования», т. е. разработать такие нормы, которые при любой, даже самой чрезвычайной ситуации, исключали бы перерасход этих ресурсов. Иными словами, нормы расхода устанавливали не по действительному расходу ресурсов на единицу продукции, а по верхнему допускаемому пределу. К тому же, 1 кВт $\times$ ч для села стоил 1 коп. Доходило дело до того, что колхозам и совхозам доводили план потребления энергии.

Такая «практика» несла, помимо экономических, значительные социальные издержки, поскольку этот заведомый перерасход закладывался в цены на продукцию, выпускаемую предприятиями. В результате в стоимость товаров включались потери, которые оплачивали мы, потребители. И хотя удельный вес топливно-энергетических затрат в себестоимости иных видов продукции не самый высокий (менее 20 % у ряда отраслей), но он составляет, в зависимости от отрасли, 5-50 % (например, в машиностроении – 5-8 %). И каждый новый виток цен на энергоносители делал и делает эти товары все более дорогими. Нельзя сбрасывать со счетов и технологическое отставание нашего производства от производства Запада.

Несмотря на все вышеприведенное, в результате осуществляемых с 1993 года мер по энергосбережению, начиная с 1995 года, в Республике Беларусь обеспечено повышение валового внутреннего продукта (ВВП) на 36 % практически без прироста ТЭР. Энергоемкость ВВП за этот период снизилась на 28,2 %.

## 1.5. Топливно-энергетический комплекс (ТЭК)

ТЭК (энергетика) представляет собой сложную совокупность больших, непрерывно развивающихся производственных систем для получения, преобразования, распределения и использования природных энергетических ресурсов и энергии всех видов.

Ведущее значение ТЭК состоит в том, что он во многом определяет основные пропорции экономики, осуществимость и целесообразность технологических процессов. Системы ТЭК: угле-, нефте-, газоснабжающие, ядерно-

энергетическая, электроэнергетическая и теплоснабжающая — относятся к искусственным, т.е. созданным человеком; большим (сложным) иерархическим, т.е. включающим совокупности входящих одна в другую соподчиненных подсистем; открытым ввиду наличия их внешних связей с другими системами и окружающей средой; постоянно развивающимся, т.е. меняющим во времени свои параметры и режимы; целенаправленным, т.е. двигающимся к определенной цели или группе целей; автоматизированным системам, в которых человек входит в органически связанные управляющие и управляемые части системы.

Эти производственные системы, имея тесные взаимосвязи и функционируя как единое целое, выступают как обособленные в организационном отношении отрасли промышленности, главным признаком которых, как совокупности предприятий, организаций, является однородное экономическое назначение производимой продукции.

Потребляющие установки и вместе с ними часть устройств для преобразования, передачи и распределения энергии находятся в ведении потребителей.

Управление ТЭК может быть успешным при условии хорошего знания сути и особенностей управляемых объектов, и прежде всего технологических процессов. Рассмотрим суть технологического процесса в ТЭК, представляющего собой сложную совокупность технологических процессов. На рис. 1.1. представлена схема цепи технологических преобразований природных энергоресурсов в электроэнергию и тепловую энергию. Основными звеньями этой цепи являются:

- системы топливоснабжения;
- электроэнергетическая система, где осуществляется производство, транспорт и распределение электрической и тепловой энергии;
- конечные потребители энергии.

Электростанции, использующие природные запасы топлива, работают в органическом единстве с предприятиями, добывающими, перерабатывающими и транспортирующими топливо. Для ТЭС, работающих на угле, – это шахты, угольные разрезы, предприятия по обогащению топлива. Для ТЭС, работающих на газе, – это предприятия газодобычи, газопроводы, газохранилища. Для ТЭС на мазуте – предприятия нефтедобычи и нефтепереработки, нефтепроводы. Названные предприятия системы топливоснабжения постоянно необходимы для нормальной эксплуатации электростанций и являются для них сопряженными предприятиями и образуют их внешний топливный цикл. Предприятия, подготавливающие ядерное горючее для атомных электростанций, связанные с добывчей исходного сырья и получением урановых концентратов, обогащением природного урана, изготовлением тепловыделяющих элементов (твэлов), выдержкой, транспортировкой и переработкой ядерного горючего, составляют внешний топливный цикл АЭС.

Технологический процесс преобразования природных энергетических ресурсов в ТЭК включает три основные стадии (рис. 1.1):

1. Добыча первичных энергоресурсов (органического топлива, ядерного топлива, гидроэнергии), их облагораживание (сортировка, обогащение, брике-

тирование, обессеривание и т.д.) и переработка (нефтепереработка, коксование, пиролиз, синтез, гидрогенизация и др.).

2. Преобразование одних видов энергии в другие – производство электрической энергии, пара, горячей воды, сжатого воздуха и др.

3. Конечное потребление энергии для производства всех видов неэнергетической продукции, работы транспорта, оказания производственных и культурно-бытовых услуг населению.

Взаимосвязи между стадиями преобразования энергии осуществляются посредством транспорта энергетических ресурсов и энергии всех видов, который также является стадией технологического процесса.

Изучая технологии в ТЭК по рис. 1.1, обратите внимание на межзвенное расположение таких элементов, как склады первичных энергоресурсов и аккумулирующие установки. Последние могут находиться и в энергосистеме, и непосредственно у потребителей.

Потребители также могут иметь собственные генерирующие источники (мини-ТЭЦ, заводские котельные, автономные источники и т.п.), имеют распределительные сети (внутризаводские электрические, тепловые сети, газораспределительные и др.).

Основополагающим понятием энергетики является понятие *топливно-энергетического баланса (ТЭБ)*. В широком смысле оно означает полное количественное соответствие потоков всех видов энергии и энергетических ресурсов между стадиями их добычи, переработки, преобразования, транспорта, распределения, хранения, конечного потреб-

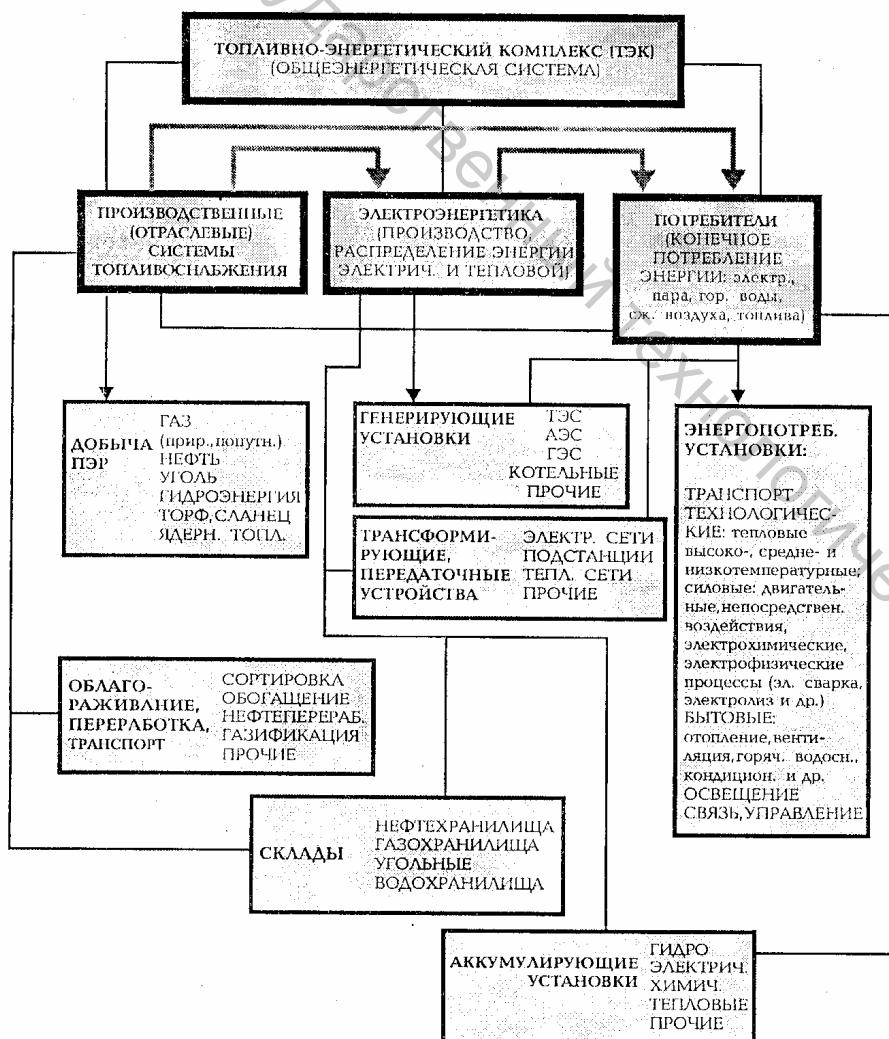


Рис. 1.1. Основные элементы технологического процесса ТЭК

ления в целом по народному хозяйству в территориальном и производственно-отраслевом разрезах. В более узком смысле его понимают как полное количественное соответствие между суммарной произведенной энергией, с одной стороны, и суммарной конечной полезно потребленной энергией и потерями энергии – с другой. ТЭБ является статической характеристикой непрерывно развивающегося топливно-энергетического комплекса, т. е. характеризует его состояние в определенный момент времени. Различают приходную часть ТЭБ - совокупность источников ТЭР и расходную часть - совокупно потребителей ТЭР, включая технологический расход (технические потери) энергии.

Топливно-энергетический комплекс в экономике любых государств является важнейшей составляющей в обеспечении функционирования и развития производительных сил, в повышении жизненного уровня населения, а для государств с дефицитом собственных энергоресурсов, к которым относится и Республика Беларусь, оптимизация развития и функционирования ТЭК - одно из приоритетных направлений деятельности законодательной и исполнительной власти, всех производителей и потребителей ТЭР для обеспечения конкурентоспособности продукции на мировом рынке.

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «энергия». Как классифицируется энергия в естествознании в зависимости от ее природы?
2. Приведите классификацию видов энергии в зависимости от уровня проявления?
3. Какие единицы измерения энергии Вы знаете?
4. Изобразите схему классификации первичной энергии.
5. Дайте определение понятиям «невозобновляемые и возобновляемые энергоресурсы».
6. Какие виды энергетических ресурсов относят к невозобновляемым? Охарактеризуйте их.
7. Какие виды энергетических ресурсов относят к возобновляемым?
8. Что такое качество энергоресурсов? Для чего введено понятие условного топлива?
9. Каковы прогнозы развития мирового энергетического хозяйства?
10. Чем представлены невозобновляемые энергетические ресурсы Республики Беларусь?
11. Охарактеризуйте запасы древесины в Республике Беларусь.
12. Охарактеризуйте запасы нефти в Республике Беларусь.
13. Охарактеризуйте запасы торфа в Республике Беларусь.
14. Охарактеризуйте запасы угля и горючих сланцев в Республике Беларусь.
15. Охарактеризуйте эффективность использования и потребления энергии в различных странах и в Республике Беларусь?
16. Дайте определение понятию «топливно-энергетический комплекс».

17. Каковы основные элементы технологического процесса ТЭК?

18. Какие три основные стадии включает технологический процесс преобразования природных энергетических ресурсов в ТЭК?

## 2. ТРАДИЦИОННЫЕ СТАНЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

### 2.1. Тепловые, атомные и гидроэлектростанции

Преобразование первичной энергии во вторичную, в частности в электрическую, осуществляется 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;
- **ГЭС – гидроэлектростанция** преобразует механическую энергию движения воды в электрическую;
- **ГАЭС – гидроаккумулирующая станция** преобразует механическую энергию движения предварительно накопленной в искусственном водоеме воды в электрическую;
- **АЭС – атомная электростанция** преобразует атомную энергию ядерного топлива 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. По назначению тепловые электростанции (ТЭС) 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.**

На рис. 2.1 представлена тепловая схема ТЭС. Ее основное оборудование состоит из котла-парогенератора ПГ, турбины Т и генератора Г.

В котле при сжигании топлива выделяется тепловая энергия, которая преобразует-

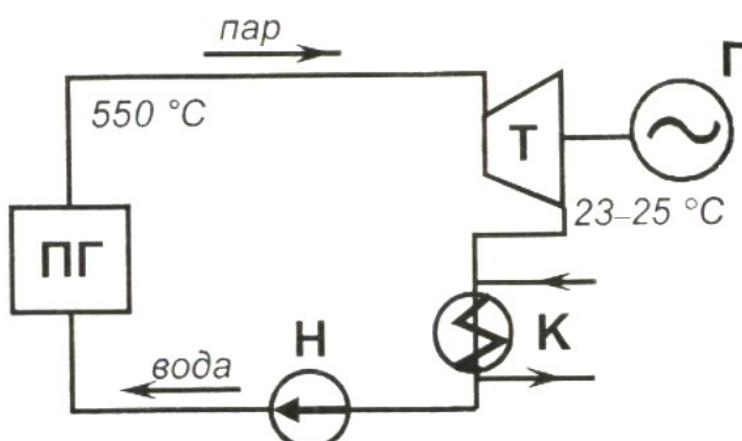
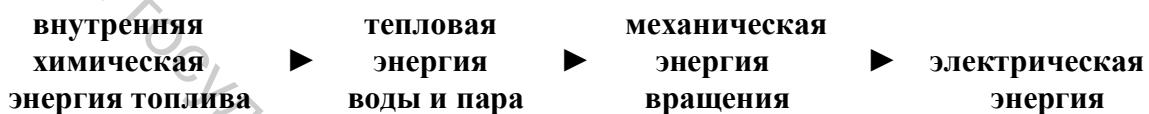


Рис. 2.1. Тепловая схема ТЭС

ся в энергию водяного пара. В турбине Т водяной пар 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.

На рис. 2.1 кроме основного оборудования ТЭС показаны конденсатор пара К, в котором отработанный пар, отдавая скрытую тепло парообразования охлаждающей его воде, с помощью циркуляционного насоса Н в виде конденсата вновь подается в котел-парогенератор. Схема ТЭЦ отличается тем, что взамен конденсатора устанавливается теплообменник, где пар при значительном давлении нагревает воду, подаваемую в главные тепловые магистрали.

Технология преобразований энергии на ТЭС может быть представлена в виде цепи следующих превращений:



Отметим некоторые 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 (продукт переработки нефти - остаток после отгонки из нефти бензина, керосина и других легких фракций). Однако использование природного газа и особенно мазута в перспективе должно сокращаться, так как это слишком ценные вещества, чтобы их использовать в качестве котельного топлива. За счет тепла, образующегося в результате сжигания топлива, в паровом кotle вода превращается в пар с температурой около 550 °C. Можно было бы получить пар и с более высокой температурой, но это не выгодно. КПД 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 (3000 об./мин.).

Скорость потока пара на рабочих лопатках, его механическая энергия уменьшается следующим образом. Канал между рабочими лопатками криволинеен. Поток пара, протекая 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, так как валы турбины и электрического генератора соединены между собой.

Современные паровые турбины для ТЭС – весьма совершенные, быстрорходные, высокоэкономичные машины. Они многоступенчаты, т.е. имеют обычно несколько десятков дисков с рабочими лопатками и такое же количество перед каждым диском групп сопел, через которые протекает струя пара. Давление и температура пара постепенно снижаются.

После паровой турбины водяной пар, имея уже низкое давление – около 0,04 бара и температуру 25-23°C, 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.

Текстильной промышленности тепло необходимо для технологических целей. Примерно 50% добываемого топлива расходуется на тепловые нужды предприятий. Отработанный в турбинах КЭС пар имеет температуру 25-30°C и давление около 0,04 бара ( $0,04 \cdot 10^{-7}$  МПа) и непригоден для использования в технологических целях на предприятиях. Во многих производствах требуется пар давлением 0,5-0,9 МПа, а иногда и до 2 МПа (для приведения в движение прессов и др.). Иногда требуется горячая вода, нагретая до 70-150°C. Требуется горячая вода и для отопления жилых зданий.

Тепловая энергия в виде пара указанных параметров и горячей воды может производиться централизованно на ТЭЦ и в крупных котельных или децентрализованно на заводских мини-ТЭЦ и в индивидуальных котельных.

На ТЭЦ для получения пара с необходимыми потребителю параметрами используют специальные турбины с промежуточными отборами пара. В них после того, как часть энергии пара израсходуется на приведение в движение турбины и параметры его понизятся, производится отбор некоторой доли пара для потребителей. Оставшаяся доля пара обычным способом используется в турбине для приведения ее во вращение и затем поступает в конденсатор. Поскольку для части пара перепад давления оказывается меньшим, то несколько возрастает расход топлива на выработку электроэнергии. Однако это увеличение, в конечном счете, меньше по сравнению с расходом топлива в случае раздельной выработки электрической энергии и тепла на небольших котельных. При сжигании топлива только для получения тепла, например для отопления,

весь «температурный напор» примерно от 1500°C до 100°C, т.е. от температуры получаемой при сжигании топлива, до температуры, нужной для отопления, никак не используется. Выгоднее использовать этот температурный интервал больше 1000°C для получения из тепловой энергии механической, а тепло (около 100°C) направить на отопление. Конечно, в этом случае механической энергии при том же количестве сжигаемого топлива получится меньше за счет повышения конечной температуры примерно на 70 °C (с 30 до 100°C). Такое повышение необходимо для обеспечения температуры воды на нужды отопления. Горячая вода и пар под давлением до 3 МПа доставляются потребителям по трубопроводам. Совокупность трубопроводов для передачи тепла называется тепловой сетью. Передача тепла в виде пара неэкономична на расстояние более 5-7 км.

Централизованное теплоснабжение на базе комплексной выработки тепловой и электрической энергии обеспечивает в настоящее время основную долю потребности в тепле промышленного и жилищно-коммунального хозяйства, уменьшает расход топливно-энергетических ресурсов, а также материальных и трудовых затрат в системах теплоснабжения, имеет экологические преимущества.

Однако при максимальной централизации теплоснабжения на ТЭЦ можно выработать только 25-30% требуемой электрической энергии. Работа же конденсационных станций определяется условиями выработки электроэнергии, которую технологически и экономически возможно передавать на значительные расстояния. Это делает благоприятным концентрацию больших электрических мощностей и позволяет быстро наращивать электроэнергетический потенциал страны. Поэтому в национальной энергетической системе необходимо и целесообразно сочетание КЭС и ТЭЦ.

**Атомная электростанция (АЭС)** по своей сути также является тепловой электростанцией и имеет ту же принципиальную схему (рис. 2.1). Однако вместо котла, где сжигается органическое топливо, используется ядерный реактор. Внутриядерная энергия превращается в тепловую энергию пара, которая затем - в механическую энергию вращения турбогенератора и в электрическую энергию.

**На гидроэлектростанции (ГЭС)** используется энергия рек. Путем сооружения плотины создается разность уровней воды. Вода, перетекая с верхнего уровня (бьефа) на нижний либо по специальным трубам – турбинным трубопроводам, либо по выполненным в теле плотины каналам, приобретает большую скорость. Струя воды поступает далее на лопасти гидротурбины. Ротор гидротурбины приводится во вращение под воздействием центробежной силы струи воды. Таким образом, на ГЭС осуществляется преобразование:

механическая энергия воды ► электрическая энергия воды

Поэтому теоретически их КПД может достигать 90%. Кроме того, ГЭС являются маневренными станциями, время пуска их агрегатов исчисляется

минутами.

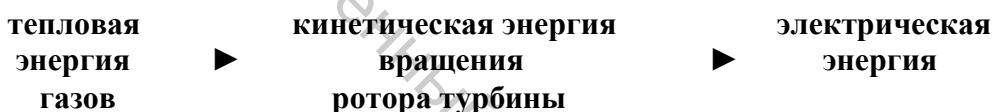
Заметим, что в энергосистеме желательно иметь *сочетание различных типов станций*. Комбинируя их характеристики, можно добиться наилучших характеристик энергосистемы в целом, в том числе наибольшей энергоэффективности.

## 2.2. Газотурбинные и парогазовые установки

Рассмотренная схема ТЭС является основной, в ней используется парогенератор, в котором водяной пар служит носителем энергии. На ТЭС могут использоваться газотурбинные установки (ГТУ). Широкое распространение газовые турбины получили на транспорте в качестве основных элементов авиационных двигателей, на железнодорожном транспорте - газотурболовомотивы.

*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:



По конструктивному исполнению и принципу преобразования энергии газовые турбины не отличаются от паровых. Экономичность работы газовых турбин примерно такая же, как и двигателей внутреннего сгорания, а при очень высоких температурах рабочего тела их экономичность выше. Газовые турбины более компактны, чем паровые турбины и двигатели внутреннего сгорания аналогичной мощности. При мощности 25-100 тыс. КВт КПД ГТУ

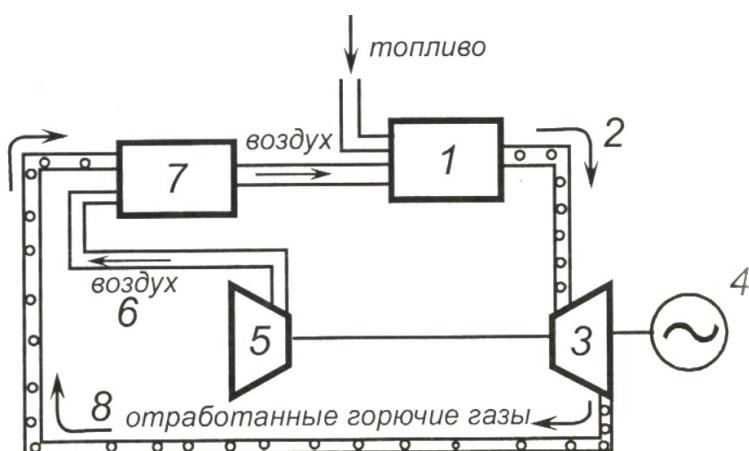


Рис. 2.2. Принципиальная схема ТЭС с газотурбинной установкой

как мы увидим ниже, для экономичного и надежного функционирования

составляет 27-28%; КПД 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 газотурбинными установками более маневренна, чем паротурбинная, легко пускается, останавливается, регулируется. Это очень ценно,

энергетических систем. Пока мощности имеющихся газовых турбин в 5-8 раз меньше, чем паровых. Недостаток ГТУ заключается в том, что газовые турбины работают, в основном, на жидким высокосортном топливе или на газообразном (природный газ; искусственный газ, получаемый при особом сжигании твердых топлив). Тем не менее, аналитические исследования перспективных направлений развития мировой энергетики называют ГТУ в числе наиболее прогрессивных преобразователей энергии XXI века.

На рис. 2.2 представлена принципиальная схема ТЭС с газотурбинной установкой. В камеру сгорания 1 подается жидкое или газообразное топливо и воздух. Образующиеся в ней газы 2 высокого давления при температуре 750-770°C 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 отмотанными 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.

Дело в том, что отработанные в ГТУ газы имеют высокую температуру, что неблагоприятно сказывается на КПД термодинамического цикла. Совмещение газо- и паротурбинных агрегатов так, что в них происходит совместное использование тепловой энергии, получаемой при сжигании топлива, позволяет на 8-10% повысить в целом экономичность установки, получившей название парогазовой, и снизить ее стоимость на 25%.

Парогазовая установка является бинарной, так как в ней используются два рабочих тела: пар и газ. Принципиальная схема ТЭС с парогазовой установкой

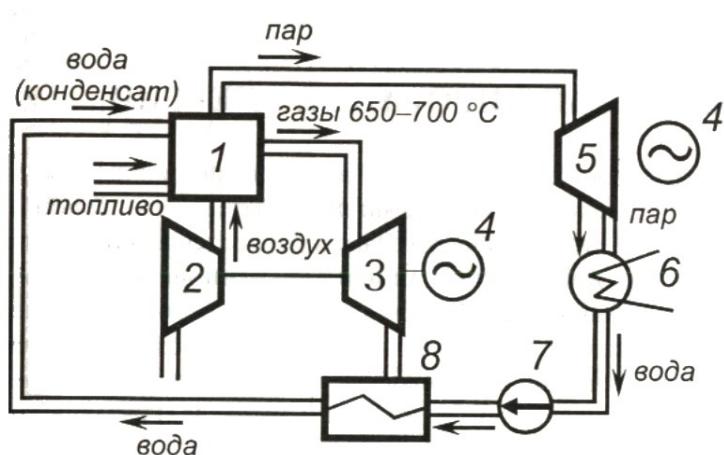


Рис. 2.3. Принципиальная схема ТЭС с парогазовой установкой

приведена на рис. 2.3. 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 даст возможность уменьшить расход топлива и повысить КПД до 44%. На рис. 2.4 представлена еще одна возможная схема ТЭС с парогазовой установкой – с вы-

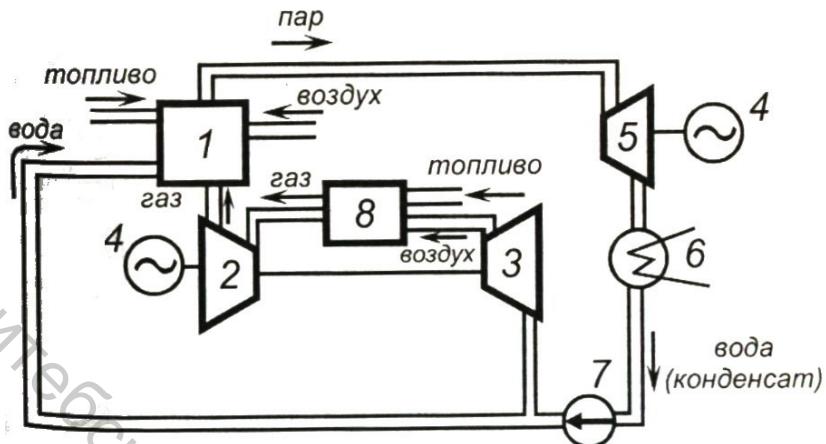


Рис. 2.4. Схема ТЭС с парогазовой установкой с выбросом отработанных газов в паровой котел

процессы взаимосвязанные. В силу физических закономерностей мощность потребления энергии в какой-либо момент времени должна быть равна генерируемой мощности. В этом заключается особенность энергетического производства. К сожалению, отсутствуют возможности складирования электрической и тепловой энергии. Практическое применение известных способов аккумулирования (накопления) различных видов энергии весьма затруднительно.

В то же время работа отдельных приемников электрической и тепловой энергии неравномерна и суммарное потребление энергии также неравномерно.

Потребителю требуется электроэнергии днем больше, чем ночью, в рабочий день недели больше, чем в субботу и воскресенье, зимой больше, чем летом. Режим потребления электрической или тепловой энергии потребителем: предприятием, районом, городом, страной - и течение определенного отрезка времени: суток, месяца, года - отражается с помощью графика нагрузки. Соответственно, различают: суточный, месячный, годовой графики нагрузки.

Итак, **график нагрузки** – это зависимость потребляемой мощности от времени суток, месяца, года. Графики нагрузки существенно отличаются для воскресных и рабочих дней, для зимних и летних месяцев и т.п. Графики нагрузки отдельных потребителей и в целом энергосистемы имеют неравномерный харак-

бросом отработанных газов в паровой котел. Здесь 8 - камера сгорания.

### 2.3. Графики нагрузки

Производство электрической и тепловой энергии на электростанциях и их потребление различными пользователями - про-

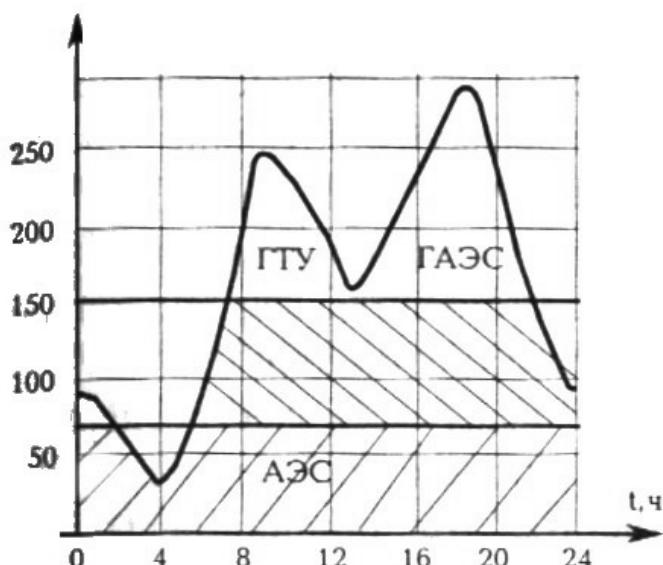


Рис. 2.5. Примерный график потребления электроэнергии в течение зимних суток в большом городе

тер.

На рис. 2.5 представлен примерный график потребления электрической энергии в течение зимних суток в большом городе. Вы видите два характерных пика: утром, в 8–9 часов (подъем людей и начало рабочего дня) и вечером, в 18–19 часов (наступление темноты и возвращение с работы) – и характерный ночной провал нагрузки.

Из графиков нагрузки отдельных потребителей складывается суммарный график потребления для энергосистемы (ЭС) страны, так называемая национальная кривая нагрузки. Задача ЭС 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.

Отсюда выявляются важнейшие цели энергетического менеджмента:

- обеспечение графиков нагрузки;*
- выравнивание национальной кривой нагрузки.*

Более ровная форма национальной кривой нагрузки означает более эффективное использование энергетических ресурсов в масштабах всей страны, и, следовательно, более успешную реализацию энергосберегающего потенциала.

*Обеспечить график нагрузки* означает организовать бесперебойную подачу электроэнергии в часы максимального потребления при дефиците мощности в энергосистеме, а в часы минимума потребления энергии не допускать разгрузки той части генерирующего оборудования.

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 задачу регулирования мощности из-за большой продолжительности (часы этих процессов). Работа крупных ТЭС в резко переменном режиме нежелательна, так как приводит к повышенному расходу топлива, изностеплосилового 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 (рис. 2.5).

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 минуты. Регулирование мощности ГЭС производится следующим образом: когда в системе – провалы нагрузки, ГЭС работают с незначительной мощностью и вода заполняет водохранилище, при этом запасается энергия; с наступлением пиков нагрузки включаются агрегаты станции и вырабатывается энер-

гия. Накопление энергии в водохранилищах на равнинных реках приводит к затоплению обширных территорий, что является отрицательным экологическим фактором. Целесообразно строительство ГЭС на быстрых горных реках.

В Беларуси в настоящее время осуществляется программа восстановления построенных в довоенные годы малых ГЭС, которые являются экологически чистыми возобновляемыми источниками энергии и будут способствовать обеспечению маневренности Белорусской ЭС.

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

Весьма действенным 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. В дальнейшем будут рассмотрены и другие экономические механизмы обеспечения эффективности энергопотребления.

Эффективной технической мерой выравнивания графиков нагрузок служит *аккумулирование различных видов энергии*. Идея заключается в том, что в часы провала нагрузки следует запасать электроэнергию, а в часы максимума - использовать ее. Представляет значительный интерес идея так называемого встречного регулирования режима потребления и способы ее практического осуществления. Суть ее состоит в том, чтобы стимулировать потребителя к максимальному потреблению в часы минимума ЭС и к минимальному потреблению в часы максимума ЭС.

## Контрольные вопросы

1. Назовите известные Вам станции преобразования первичной энергии во вторичную.
2. Изобразите тепловую схему ТЭС. Опишите принцип ее работы
3. На какие циклы делится процесс производства электроэнергии на ТЭС?
4. Как ориентировочно оценить общий коэффициент полезного действия ТЭС?
5. Изобразите тепловую схему АЭС. Опишите принцип ее работы.
6. Опишите принцип работы ГЭС.
7. Изобразите принципиальную схему ТЭС с ГТУ. Опишите принцип ее работы.
8. Изобразите принципиальную схему ТЭС с парогазовой установкой. Опишите принцип ее работы.
9. Дайте определение понятию «график нагрузки». Перечислите важнейшие цели энергетического менеджмента.

### **3. ПРИОРИТЕТНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

В настоящее время к основным техническим приоритетам Государственной программы «Энергосбережение» определены следующие технические направления энергосбережения в Республике Беларусь, на выполнении которых в первую очередь должны концентрироваться усилия:

- малые и мини-ТЭЦ;
- парогазовые установки в энергетике;
- учет и регулирование ТЭР;
- автоматизированные системы управления технологическими процессами;
- регулируемый электропривод;
- холодильная техника и компрессорное оборудование;
- нетрадиционные и возобновляемые источники энергии;
- котельные и тепловые сети;
- использование вторичных энергоресурсов;
- теплонасосные установки;
- системы освещения;
- строительные конструкции и теплоизоляционные материалы;
- внедрение новых технологий и оборудования и др.

#### **3.1. Малые и мини-ТЭЦ, повышение эффективности котельных**

В настоящее время энергоснабжение предприятий и фирм Беларуси практически полностью централизовано: электроснабжение осуществляется от Белорусской энергосистемы, теплоснабжение – частично от собственных источников энергии (около 50%), частично от объектов энергосистемы. Доля ТЭЦ значительна в балансе электрической мощности Белорусской энергосистемы (ЭС). Использование ТЭЦ является существенным фактором энергосбережения: при комбинированной выработке энергии повышается коэффициент использования топлива. При одинаковых соотношениях полезной работы по тепловой и электрической энергии при комбинированном производстве расход топлива меньше на 20-25%, чем при раздельном. На практике эффект несколько снижается из-за трудностей совмещения графиков электрического и теплового потребления, меньшего КПД более сложной теплофикационной турбины, потерю в тепловых сетях.

Решение проблемы экономии энергоресурсов в ближайшее время связано с развитием газотурбинной энергетики и созданием небольших парогазовых (на основе газотурбинных установок) ТЭЦ в ЭС и непосредственно у потребителей. Газотурбинная технология является на сегодня наиболее эффективной из топливоиспользующих в электроэнергетике и позволяет при тех же объемах выработки электрической и тепловой энергии снизить расход топлива на 30% и более, а также в кратчайшие сроки и без значительных затрат увеличить объем

производства энергии. Кроме того, применение газовых турбин дает возможности маневрирования мощностью для обеспечения оптимальных режимов ЭС, отказа от протяженных электрических и тепловых сетей, снижения вредных выбросов в атмосферу, быстрого ввода генерирующих мощностей при малых сроках их окупаемости.

Децентрализация и развитие малой энергетики, т.е. строительство малых и мини-ТЭЦ, модернизация котельных с целью повышения их эффективности, восстановление малых ГЭС признаны одним из основных направлений эффективного использования ТЭР в энергетическом секторе республики. К объектам малой энергетики относятся *источники электрической и (или) тепловой энергии, использующие котельные, теплонасосные, паро- и газотурбинные, дизель- и газогенераторные установки единичной мощностью до 6 МВт*. Ориентация на применение парогазового цикла, газотурбинных установок, рециркуляции газов, ввода вторичного воздуха, ступенчатого сжигания топлива и других прогрессивных технологий позволит, кроме энергосберегающего и экологического эффектов, повышения КПД ТЭЦ обеспечить также, с одной стороны, работу ТЭЦ в энергосистеме в качестве маневренных электростанций, с другой – создать конкурентную среду в системах энергообеспечения промышленных и коммунально-бытовых потребителей. Широкая конкуренция создаст альтернативу действующей ЭС, даст потребителю возможность выбора производителя и поставщика энергии, что будет стимулировать снижение потерь при преобразовании и транспорте энергии, поможет решить проблему недостатка инвестиций в энергетику: предприятия-потребители сами будут участвовать в создании акционерных малых и мини-ТЭЦ.

В качестве первоочередных, приоритетных видов малых и мини-ТЭЦ Государственная программа «Энергосбережение» называет:

- *газотурбинные и парогазовые ТЭЦ* (ГТУ и ПГУ ТЭЦ) с электрической мощностью 4-72 МВт и тепловой мощностью 25-86 МВт,
- *паротурбинные ТЭЦ* (ПТУ ТЭЦ) на базе промышленных котельных мощностью 0,6-3,5МВт,
- *моторогенераторные ТЭЦ*.

ГТУ и ПГУ ТЭЦ отличаются высокими экономическими показателями: относительная выработка на тепловом потреблении в 2,5 раза выше, а удельный расход условного топлива на отпущенную электроэнергию в 1,3 раза ниже, чем на ПТУ ТЭЦ, срок окупаемости – 3-4 года, а стоимость в 1,5 раза меньше традиционных той же производительности.

Стоимость вырабатываемой электроэнергии на котельных, реконструированных в мини-ТЭЦ, будет в 1.5– 2 раза меньше, чем электроэнергии из ЭС; срок окупаемости модернизации котельных - 2-3 года.

Моторогенераторные мини-ТЭЦ на основе дизель- и газогенераторных двигателей являются эффективными при работе на природном газе и утилизации теплоты для отопительных, технологических и коммунальных целей.

На промышленных предприятиях республики вырабатывается в год примерно 4 млн. Гкал тепловой энергии, из которых около 40% идет на собствен-

ные нужды и около 60% отпускается сторонним потребителям, и в то же время 2 млн. Гкал тепла поступает на предприятия со стороны. Поэтому имеется возможность организовать совместное производство электрической и тепловой энергии на базе мини-ТЭЦ на предприятиях промышленности. На начальном этапе предполагается не ограничивать использование тепловой энергии от ЭС, а создавать мощности малых и мини-ТЭЦ только на базе теплоты, вырабатываемой собственными источниками самих предприятий. По оценочным расчетам, наиболее экономично сооружение на промышленных предприятиях мини-ТЭЦ с установленной мощностью 50 МВт с использованием противодавленческих турбин мощностью 600 кВт и дизельных установок мощностью 400 кВт.

В коммунальной энергетике решающим фактором должны стать газотурбинные или парогазовые установки с мощностью агрегатов 2,5-16 МВт, легко и быстро встраиваемые, пристраиваемые к действующим ТЭЦ, котельным, центральным тепловым пунктам (ЦТП), возводимые как самостоятельные объекты либо как отдельные секции в промышленных, жилых и общественных зданиях. ГТУ мощностью 2,5 МВт - идеальная «коммунальная» мощность – может обеспечивать электричеством и теплом один многоподъездный или 2-4 современных 9-14-этажных дома. Такие мини-ТЭЦ выпускаются в виде блок-контейнеров транспортного габарита в широкой номенклатуре мощностей – от 1 до 25 МВт и монтируются непосредственно на площадке у потребителя с учетом внешних сетей за несколько месяцев. Получаемая от них инергия в 2,5-3,5 раза дешевле, чем от ЭС, а затраты на станцию окупаются за 1,5-2 года. Объем вредных выбросов от газотурбинных станций в 3-5 раз ниже, чем от традиционных ГРЭС и ТЭЦ. Минимальный гарантированный ресурс работы – 60-120 тыс. часов, при беспрерывной работе – 20-30 тыс. часов. Станции очень мобильны: после пуска набирают электрическую мощность за десяток секунд, тепловую – за 10—15 минут. Поэтому их можно отключать на выходные дни, на ночь и даже на обеденные перерывы. Они полностью автоматизированы, почти не требуют эксплуатационного персонала, могут работать в автономном режиме и в режиме энергосистемы.

В Республике Беларусь функционирует около 22 000 отопительных и отопительно-производственных котельных, на которых вырабатывается около 53% тепловой энергии, остальная часть производится на ТЭЦ. Из них 550 - котельные средней и большой мощности производительностью более 10 Гкал/час с КПД около 90%, вырабатывают в виде пара и перегретой воды 24% всей тепловой энергии. И 29%, треть всей производимой в республике тепловой энергии, вырабатывается на мелких котельных с низким КПД – менее 80%. Это приводит к большим потерям топлива и определяет потенциал энергосбережения минимум в 0,5 млн. т.у.т. только за счет повышения КПД котлов малой мощности на 10%.

Эффективность работы промышленных и отопительных котельных предусматривается повысить благодаря следующим мерам:

- применению энергоэффективного оборудования и устройств: котлов с

двухступенчатым сжиганием топлива и рециркуляцией дымовых газов, газотурбинных надстроек к котлам для дополнительного производства электроэнергии, автоматизированных высокоэффективных горелок, компьютерного приборного учета расхода топлива и выработки энергии;

- повышению эффективности использования топлива путем автоматизации, регулирования и контроля процесса горения, утилизации тепла уходящих дымовых газов для нагрева питательной воды или дутьевого воздуха, применения «схемы с дожиганием» (утилизируется кислород отходящих газов ГТУ как окислитель сжигаемого в котле топлива), применения вместо редукционных установок в паровых котельных турбин с противодавлением;
- внедрению прогрессивных технологий водоподготовки, в частности объединению процессов подготовки воды и переработки стоков котельных с восстановлением реагентов для повторного использования;
- применению экологически чистого оборудования и малоотходных технологий.

Установка газотурбинных агрегатов в котельных и перевод на этой основе котлов в режим утилизации турбинных газов взамен или в дополнение к топливу способствует оздоровлению окружающей среды и уменьшает на треть объем сжигаемого топлива. Срок окупаемости устанавливаемых в котельных энергоустановок – 2-2,5 года, при менее благоприятных условиях – 3-4 года при удельной стоимости турбогенераторных установок \$ 180-220 за 1 кВт (не более 300, при наличии паровых котлов).

С 1 января 1999 г. в республике **не допускается** строительство новых и реконструкция действующих производственно-отопительных котельных мощностью 10 Гкал в час и выше без установки в них электро-генерирующего оборудования с годовым использованием мощности более 5000 часов на базе парогазовых, паро- и газотурбинных агрегатов, двигателей внутреннего сгорания с учетом технических возможностей и экономической целесообразности их установки.

Достичь экономии топлива за счет повышения КПД котлоагрегатов и котельной в целом можно благодаря мероприятиям, которые по силам персоналу котельной и не требуют больших затрат:

- устранению паразитных подсосов воздуха в самом кotle, дымоходах, экономайзере и воздухоподогревателе;
- улучшению тепловой изоляции котла, дымоходов, трубопроводов, хвостовых поверхностей;
- очистке теплообменных поверхностей от наружного загрязнения, удалению отложений солей в барабане котла, трубных пучках;
- организации отбора теплого дутьевого воздуха из верхней зоны здания котельной.

### **3.2. Автоматизация управления производственными процессами**

#### **3.2.1. Общие положения**

Общеотраслевым, относительно быстрым и экономичным способом повы-

шения энергоэффективности производственных процессов является реконструкция систем управления ими, и прежде всего оптимизация структуры и автоматизация управления. Как правило, стоимость систем управления энергоемкими производствами составляет доли или единицы процентов от стоимости самого управляемого производства.

Автоматизация производственных процессов создает определенные технико-экономические преимущества во всех отраслях современного народного хозяйства страны.

С внедрением средств автоматизации неизбежно повышается производительность труда. За последние сто лет она возросла в 20 раз, при этом доля механизированного труда с 6 % увеличилась до 96 %.

В результате автоматизации снижается себестоимость изделий, увеличивается выпуск продукции, повышается ее качество, уменьшается количество брака и отходов производства, сокращаются расходы на заработную плату, сырье, материалы и т.п.

При этом решающим фактором является снижение расходов топлива, тепловой и электрической энергии, что весьма характерно для систем теплоснабжения и теплопотребления. Использование средств автоматизации увеличивает надежность оборудования, точность производства, безопасность труда. Появляется возможность использовать высокоэффективные технологические процессы и устройства, характер применения которых исключает участие человека (ядерная энергетика, химическое производство, высокоскоростные процессы и т.п.).

Значительная экономия тепловой энергии, расходуемой на теплопотребление, при сравнительно небольших капиталовложениях обеспечивается за счет автоматического регулирования. При установлении оптимального режима работы экономия теплоты может составить 20% и более годового потребления без нарушения теплового режима зданий. Еще больший эффект от автоматизации может быть получен при технической (тепловой) реконструкции существующих зданий. Срок окупаемости зависит от тепловой мощности систем, функциональных характеристик применяемого регулятора, стоимости систем и их обслуживания.

Внедрение автоматизации приносит и косвенный эффект, так как увеличение производительности оборудования, экономия ресурсов эквивалентны строительству добавочных производственных мощностей. Экономия рабочей силы позволяет более рационально использовать трудовые ресурсы, а улучшение качества продукции способствует экономии топлива, энергии, материалов и т.д.

Важнейшие вопросы автоматизации – установление ее рационального уровня и объема, которые должны быть тщательно экономически обоснованы, и определение методов и средств автоматизации. Автоматизация является наиболее экономически выгодным мероприятием и окупается в среднем за 1...1.5 года.

На сегодняшний день наилучшими считаются структуры управления, имеющие 3 функциональных уровня:

1) совокупность элементов регулирования, работающих в зоне нормально-го технологического режима с целью его оптимизации;

2) совокупность элементов, вступающая в работу при отклонениях параметров режима от норм с целью удержать управляемый процесс (объект) в области нормального режима;

3) система противоаварийной защиты, которая в целях предупреждения развития и локализации аварии отключает технологический узел – источник аварии.

Первый из указанных функциональных уровней позволяет обеспечить оптимальные режимы работы оборудования и протекание технологических процессов и, тем самым, наименьшие расходы энергоресурсов. Причем элементы современных систем управления (интеллектуальные датчики, исполнительные механизмы, контроллеры, программные продукты и т.п.) позволяют получать оптимальные режимы на всех технологических стадиях: пуска, исполнения рабочих функций, останова. Второй и третий функциональные уровни систем управления, выполненные на современном уровне, позволяют предвидеть развитие аварийных ситуаций, адаптировать технологический процесс к текущим параметрам и вернуть в нормальный, а затем и оптимальный режим. Благодаря этому удастся снизить расходы энергоресурсов, связанные с аварийными простоями, с неудовлетворительным техническим состоянием оборудования, сократить длительность неоптимальных режимов, а также, улучшив качество производимых продукции или услуг, косвенно снизить энергозатраты их потребителей.

На рисунках 3.1. и 3.2 показан ряд типовых решений по автоматизации СООО «Евроавтоматика ФиФ» (Республика Беларусь г. Минск) и Berneker+Rainer Industrie-Elektronik GmbH (представительство в г. Минске предприятие «Энтас»).

### **3.2.2. Классификация подсистем автоматизации**

Степень оснащения средствами автоматизации может быть различной и определяется нормативными и техническими требованиями, а также функциональным назначением ТСА. По объему и степени оснащения объекта ТСА автоматизация может быть частичной, полной и комплексной. Например, если в котельной установке регулируется только давление пара, имеет место частичная автоматизация, а если все процессы автоматизированы – полная. При автоматизации вспомогательных операций (погрузки, транспортировки топлива и т.п.) с использованием ЭВМ, увязкой с режимами тепловых сетей, других котлов речь идет о комплексной автоматизации.

В ходе управления сложными и простыми объектами приходится осуществлять множество функционально различных операций, которые выполняют разные подсистемы, входящие в общую схему автоматизации объекта. Эти подсистемы подразделяются на информативные, защитные, управляющие и подсистемы технологического контроля.

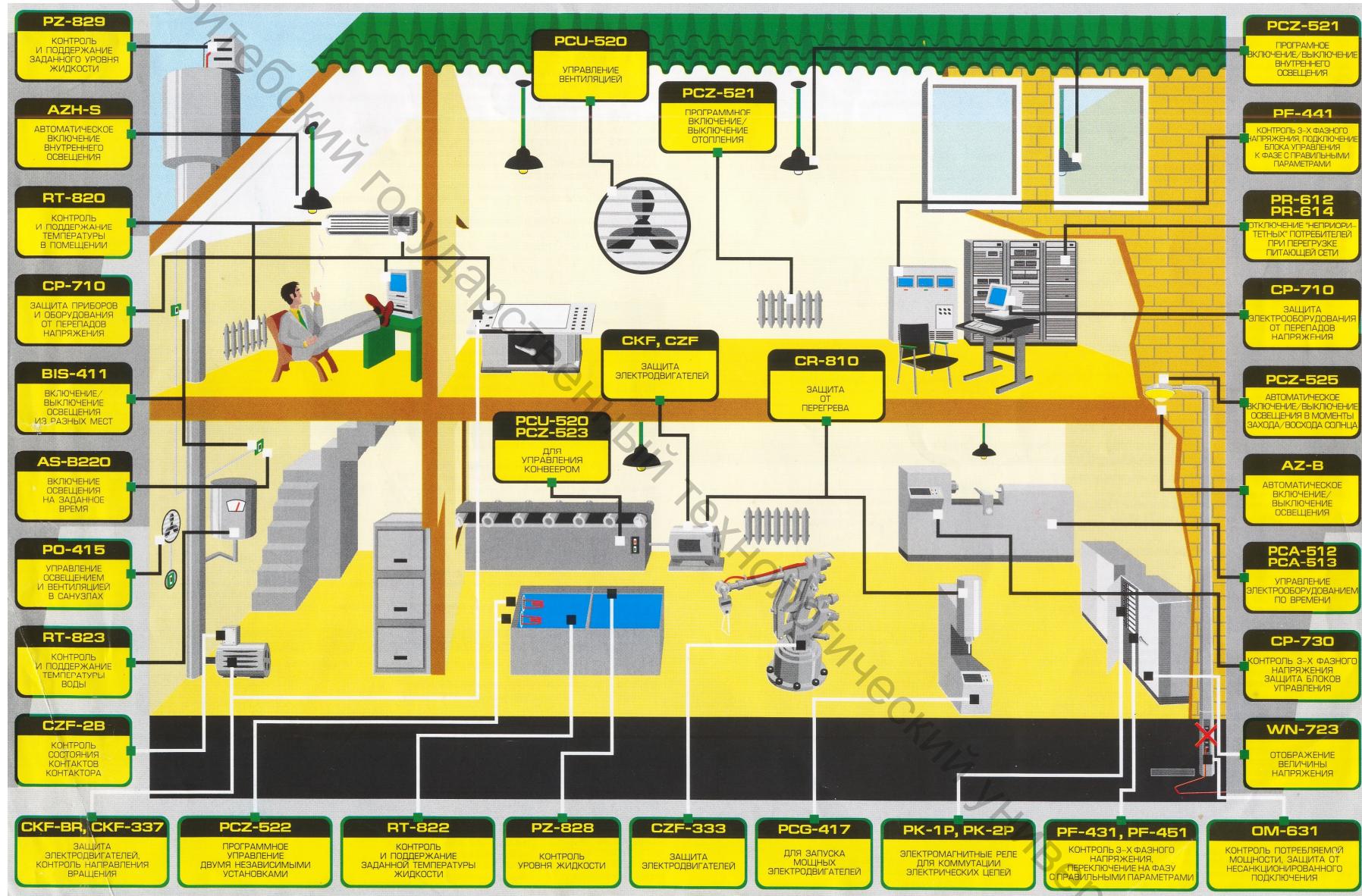


Рис. 3.1. Типовые решения по автоматизации СООО «Евроавтоматика ФиФ»



*Рис. 3.2. Типовые решения по автоматизации Berneker+Rainer Industrie-Elektronik GmbH (программируемые контроллеры, панели оператора, промышленные компьютеры, приводы и двигатели, системы управления процессами, шкафы автоматики)*

Информативные включают подсистемы технологического контроля и телеметрии, технологической и телесигнализации. Результат действий этих подсистем адресуется оператору, а его задачей является принятие того или иного решения.

Заданные подсистемы включают средства технологической и аварийной защиты, технологической и аварийной блокировки, предохраняющие технологическое оборудование от последствий неправильной эксплуатации.

К управляющим относятся подсистемы управления, включая дистанционное управление, телемеханические подсистемы, подсистемы диспетчеризации, автоматического управления и регулирования, вычислительной техники.

Основные функции подсистемы технологического контроля: а) получение количественных и качественных показателей технологического процесса – всех видов измерений с помощью контрольно-измерительных приборов (КИП); б) наблюдение за ходом технологического процесса. Разница в функциях заключается в том, что во втором случае фиксируется характер изменения физических величин. Для реализации функций технологического контроля применяют приборы местного и дистанционного действия, а также приборы с регистрацией, позволяющие вести учет расхода тепловой, электрической энергии, газа, холодной воды и т.п.

Уровень оснащения объекта автоматизации различными подсистемами за-

висит от конкретных условий эксплуатации и нормативных документов, определяющих минимально необходимый уровень автоматизации.

### 3.2.3. Понятие автоматического регулирования

Автоматическое регулирование – процесс, заставляющий качественный параметр состояния объекта (регулируемый параметр) быть постоянным или изменяться по заданному закону.

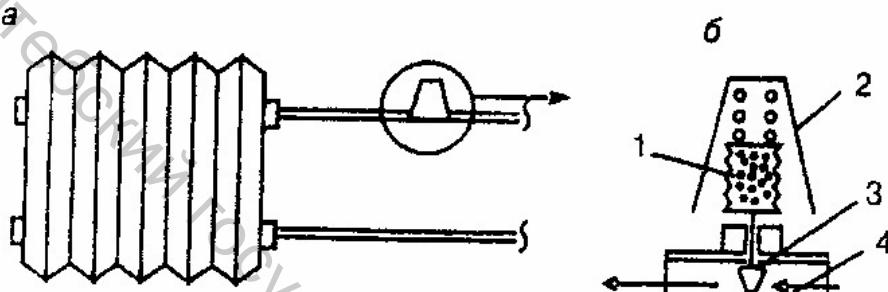


Рис. 3.3. Термостат: а- установка, б – схема

тут простейшего автоматического регулятора температуры воздуха в помещении, оборудованном системой центрального водяного отопления. Такие терморегуляторы (термостаты) получили широкое распространение для индивидуального регулирования температуры воздуха в отапливаемых помещениях и экономии тепловой энергии.

На рис. 3.3 схематично показан автоматический термостат, устанавливаемый перед нагревательными приборами на трубопроводе системы отопления (а). Герметичный гармониковый чувствительный элемент – термодатчик 1 заполняется термочувствительной массой, которая расширяется при повышении температуры в комнате (б). Перемещение датчика связано с перемещением регулирующего органа – клапана 3 в корпусе арматуры 4, который изменяет расход теплоносителя. Можно вручную задавать нужную температуру поворотом колпачка 2 с пружиной, которая принудительно деформирует датчик 1, заставляя его реагировать на другую (желаемую) температуру. Этот элемент называется задающим устройством, или корректором. Таким образом, в состав простейшего автоматического регулятора входят:

- 1) чувствительный элемент, или датчик, воспринимающий изменение регулируемого параметра (в данном случае температуры воздуха в помещении);
- 2) регулирующий орган — клапан, изменяющий расход теплоносителя — горячей воды;
- 3) задающее устройство — натяжная пружина, позволяющая задавать желаемую температуру в комнате, обычно в пределах 15...25°C.

При желании поворотом колпачка 2 до упора можно отключить нагревательный прибор от питания теплоносителем. По такому принципу действуют многочисленные регуляторы прямого действия, не использующие другой энергии, кроме энергии регулируемой среды.

Автоматический регулятор – устройство или комплекс устройств, реализующих задачу автоматического регулирования.

Рассмотрим на примере (рис. 3.3) устройство и рабо-

### 3.2.4. Первичный приборный учет

Учет тепловой энергии осуществляется с помощью теплосчетчиков горячей воды и пара. Современные конструкции теплосчетчиков позволяют осуществлять обработку, преобразование и регистрацию информации о количестве потребленной или отпущененной тепловой энергии, температуре, давлении, расходе теплоносителя и о времени работы в системах теплоснабжения отопления и горячего водоснабжения.

В зависимости от метода измерения расхода теплоносителя существует достаточно широкий спектр теплосчетчиков воды: электромагнитные индукционные, массовые, крыльчатые, вихревые, ультразвуковые. Наиболее подходящими для условий Беларуси признаны *индукционный и ультразвуковой методы* измерения расхода воды. Тепловые счетчики на базе ультразвуковых расходомеров, как показал опыт Дании, Германии, России, имеют то преимущество, что качество теплоносителя (горячей сетевой воды) не влияет на погрешность и стабильность измерений. Более остро стоит проблема измерения тепловой энергии пара. Применяемые сегодня диафрагмы (метод разностного давления) удовлетворительны только при стабильном потреблении пара на предприятии; для переменных режимов потребления могут использоваться теплосчетчики на базе вихревого расходомера.

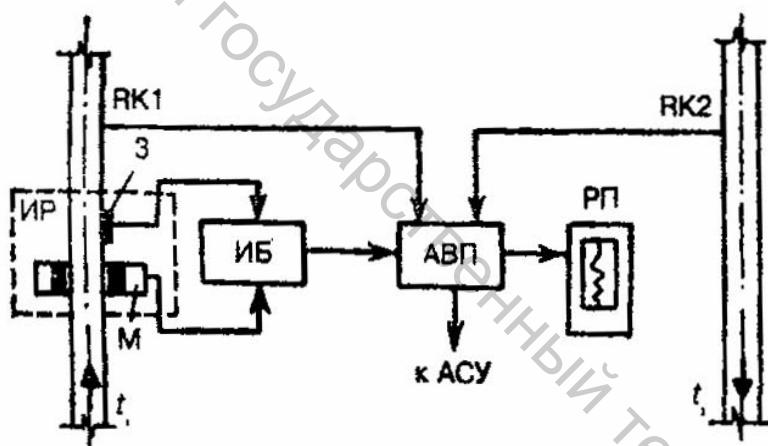


Рис. 3.4. Измерительная система теплосчетчика "Квант"

Измерительная система теплосчетчика "Квант" (рис. 3.4) состоит из электромагнитного (индукционного) расходомера (ИР), платиновых терморезисторов – датчиков температуры прямого и обратного потоков и автоматического вычислительного прибора (АВП). Подающий трубопровод расположен между полюсами электромагнита М, под действием которого ионы жидкости отдают заряды измерительным электродам Э, создавая ток, пропорциональный расходу V. Измерительный блок (ИБ) трансформирует сигнал о расходе и передает на АВП, куда также поступают сигналы от терморезисторов RK1 и RK2. АВП производит счетные операции с выходом на регистрирующий прибор (РП) и АСУ.

Наибольшее количество в общем парке теплосчетчиков составляют:

- приборы электромагнитного принципа действия - 48 %;
- ультразвуковые приборы - 30 %;
- скоростные или тахометрические – 15,7 %;
- переменного перепада давления - 6 %;

– прочие приборы - 0,3 %.

Приборы учета электромагнитного принципа действия обладают следующими достоинствами:

- отсутствие подвижных частей в потоке жидкости;
- минимальная погрешность при измерении (0,25-1,5 %);
- линейность шкалы измерения;
- возможность измерения в абразивных средах;
- малая длина прямых участков трубопроводов перед датчиками расхода (3-5 диаметра трубопровода).

Основным недостатком их является высокая чувствительность к химическому составу воды.

Применение скоростных теплосчетчиков с крыльчатыми расходомерами в последнее время значительно сократилось из-за их основных недостатков:

- высокой чувствительности к механическим примесям в воде;
- необходимостью установки фильтров, требующих постоянного обслуживания;
- наличием изнашивающихся в процессе эксплуатации подвижных механических частей.

Приборы ультразвукового действия являются наиболее применимыми и имеют преимущество как переносные с накладными датчиками, поскольку они не создают гидравлического сопротивления потоку среды, не имеют механических движущихся частей, обеспечивают широкий динамический диапазон и высокую линейность, а также обладают независимостью от изменения физико-химических параметров среды, имеют высокую точность и надежность.

Реальную экономию можно получить лишь при совместном применении учета теплопотребления с помощью счетчиков и его автоматического регулирования.

Для поквартирного учета расхода горячей и холодной воды устанавливаются водосчетчики, перед которыми рекомендуется устанавливать фильтры. Экономии воды, более равномерному ее распределению на этажам способствует установка на водоразборных кранах ограничителей расхода воды. В общественных зданиях применяют водоразборные краны с фиксированным временем автоматического их закрытия.

В республике выпускаются в достаточном ассортименте приборы группового и индивидуального учета расхода тепловой энергии и воды, отвечающие мировым стандартам.

Теплосчетчики выпускают НПП «Гран-система-С», ООО «АрВас», СП «Термо-К» и др. в городе Минске; радиозавод «Спутник» в Молодечно, ПО «Электроизмеритель» в Витебске, опытный завод «Кобальт» в Плещинцах и др. Освоены и выпускаются водосчетчики холодной и горячей воды 12 предприятиями Минска, Новополоцка и Молодечно, многие из которых – по разработкам БЕЛТЭИ. 17 субъектов хозяйствования выпускают регуляторы расхода тепловой энергии. Газовые счетчики бытовые выпускают 4 предприятия, бытовые - 2. В республике имеется 55 проверочных станций приборов учета ТЭР.

Коммерческий учет объема газа и измерение его расхода производится с помощью счетчиков газа, применение которых позволяет снизить расходы на оплату газа в среднем на 10-20%. По конструкции различают турбинные, электромагнитные, массовые, крыльчатые, вихревые счетчики газа.

Современный парк электросчетчиков весьма разнообразен. Они классифицируются по роду тока, количеству фаз, классу точности, измеряемым параметрам, количеству тарифов, элементной базе и т. д. С точки зрения элементной базы, более широкое применение находят индукционные (электромеханические) счетчики и более современные – гибридные и электронные электросчетчики. Электронные счетчики могут выполняться на интегральных схемах с фиксированным набором функций – «на жесткой логике» или на микропроцессорных элементах с гибкими, программируемыми в условиях эксплуатации функциями. Электронные счетчики в 5-10 раз дороже индукционных, их применение оправдано при переходе от локальных измерений к автоматизации энергоучета, т.е. в первую очередь, в *автоматизированных системах контроля и управления различными энергообъектами* энергосистем и промышленных предприятий.

### **3.2.5. Автоматизированные системы контроля и управления энергообъектами**

В настоящее время хорошо известна *автоматизированная измерительная система (ИС)*, позволяющая организовывать *автоматизированные системы контроля и управления различными энергообъектами (АСКУЭ)*, разработанная научно-производственным центром (НПЦ) «Спецсистема». Смысл создания и использования АСКУЭ заключается в постоянной экономии энергоресурсов и финансов на предприятии при минимальных начальных одноразовых денежных затратах. Величина экономического эффекта от использования АСКУЭ достигает на предприятиях в среднем 15-30 % от годового потребления энергоресурсов, а затраты окупаются за 2-4 квартала.

Комплекс технических средств (КТС) ИСТОК предназначен для организации многоузлового коммерческого и технического учета отпуска или потребления, контроля и распределения энергоресурсов (электрическая и тепловая энергия с водой и водяным паром, газ, вода, сжатый воздух и т. д.) в пределах промышленных и энергетических предприятий, предприятий сельского хозяйства и жилищного хозяйства, отвечает современным требованиям, имея сертификат, внесена в Госреестр РБ, и на нее Министерством промышленности выдана лицензия.

На первом уровне устанавливаются измерительные системы (ИС), представляющие собой, в общем случае, совокупность первичных измерительных преобразований (ПИП) и цифровых вычислительных устройств, объединенных общим алгоритмом функционирования и предназначенных для автоматизированного получения данных о состоянии объекта путем измерительных преобразований множества изменяющихся во времени и распределенных в пространстве величин (расход, температура, давление и т. д.), характеризующих это со-

стояние (тепловая энергия с паром и водой, электроэнергия, газ и т. д.); на втором уровне – вычислительная система на базе персонального компьютера (ПК) сменного мастера (главного энергетика), которая производит сбор и обработку информации от ИС в масштабе реального времени (рис. 3.5).

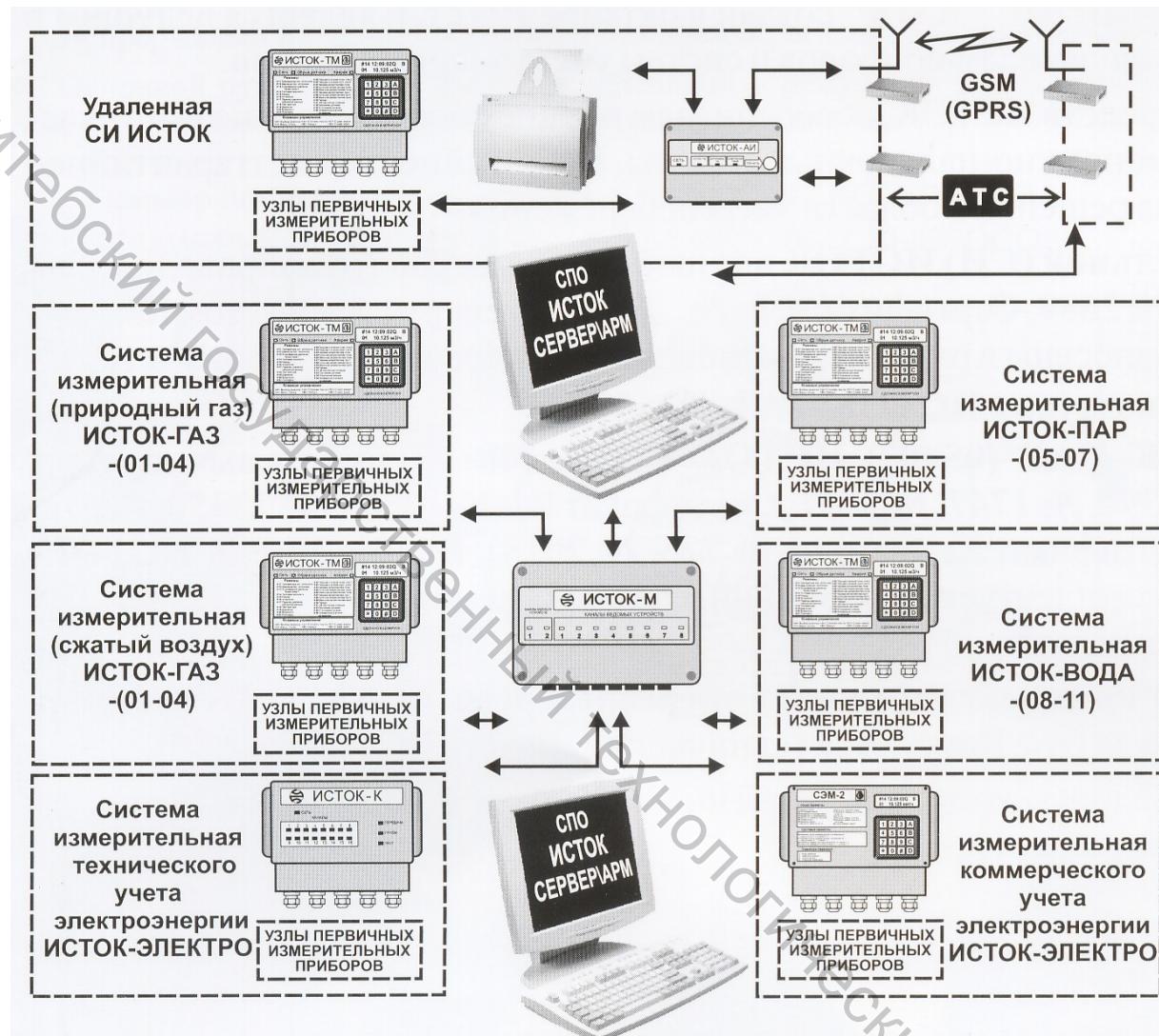
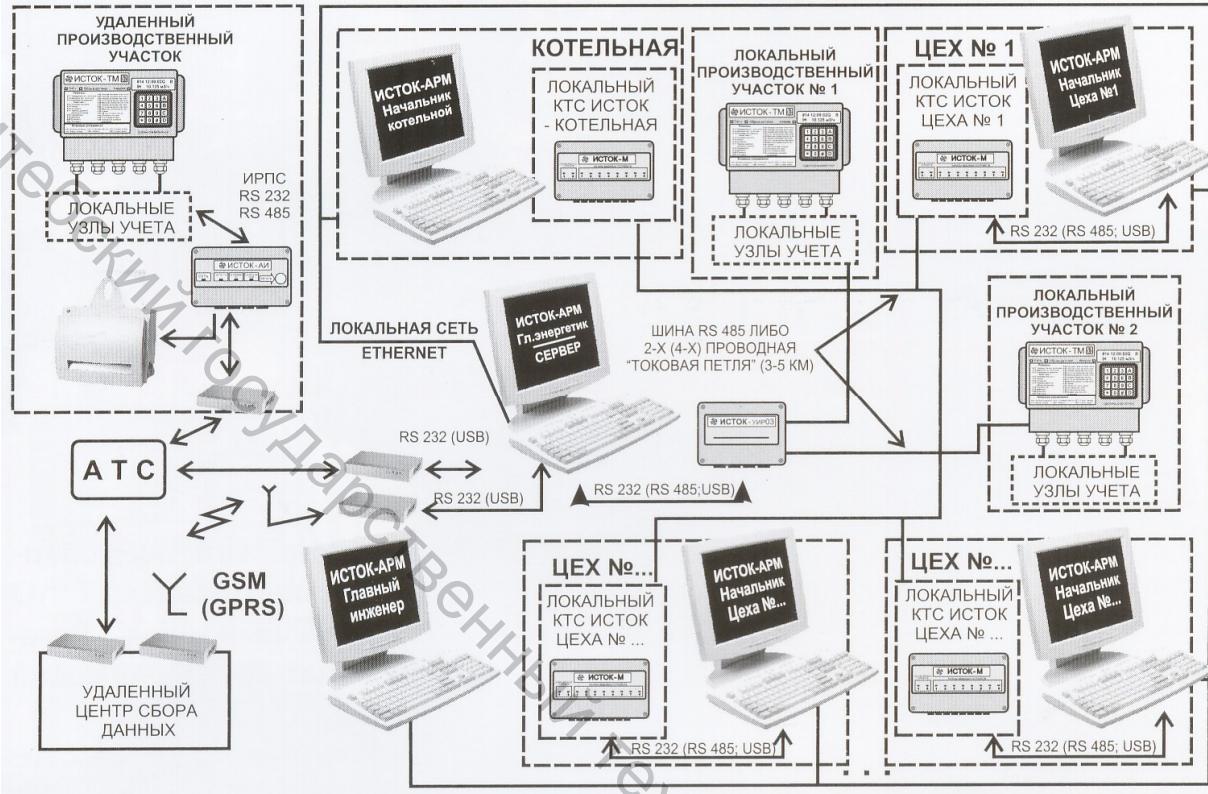


Рис. 3.5. Общая структурная схема КТС ИСТОК

Применение программного обеспечения на ПК позволяет оптимизировать технологические процессы работы энергетических объектов (ЭО) за счет формирования управляющих решений по критерию максимума КПД и, в результате, улучшить его технико-экономические показатели.

На рис. 3.6 показана структура АСКУЭ предприятия на базе КТС ИСТОК. Сервер/APM – это объектно-ориентированное программное обеспечение, которое позволяет на доступном для пользователя уровне конфигурировать информационно-измерительный комплекс любой сложности. Программное обеспечение производит считывание в ручном либо в автоматическом режиме оперативной и архивной информации о расходе энергоресурсов с измерительных приборов. АPM производит обработку информации и представляет информа-

цию в виде графиков, таблиц и отчетов. Получаемые данные о расходе (выработке) ТЭР, их дальнейший анализ служит основой для составления плана организационно-технических мероприятий по перестройке производства, снижению потерь ресурсов. А также обоснованному применению санкций за их перерасход и нерациональное использование.



*Рис. 3.6. АСКУЭ предприятия на базе КТС ИСТОК*

НПЦ Спецсистема предлагает набор типовых решений: 1. КТС Электро (измерение, учет и контроль потребляемой электроэнергии и мощности); 2. КТС Котельная (контроль работы котлоагрегатов); 3. КТС ЖКХ (коммерческий учет тепла, воды, газа и электроэнергии отдельно по каждому жилому дому и автоматизация сбора данных с группы домов).

### 3.3. Приоритетные направления энергосбережения в промышленных отраслях

В промышленности более 2/3 потенциала энергосбережения находится в сфере потребления наиболее энергоемкими отраслями — химической и нефтехимической, топливной, строительных материалов, машиностроения, черной металлургии, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной, пищевой и легкой промышленностью.

Значительные резервы экономии ТЭР в этих отраслях обусловлены несовершенством технологических процессов и оборудования, схем энергоснабжения, недостаточным внедрением новых энергосберегающих и безотходных тех-

нологий, уровнем утилизации вторичных энергоресурсов, малой единичной мощностью технологических линий и агрегатов, применением неэкономичной осветительной аппаратуры, нерегулируемого электропривода, неэффективной загрузкой энергооборудования, низкой оснащенностью приборами учета, контроля и регулирования технологических и энергетических процессов, недостатками, заложенными при проектировании и строительстве предприятий и отдельных производств, низким уровнем эксплуатации оборудования, зданий и сооружений.

**Машиностроение и metallurgia.** Примерно треть всего используемого в машиностроении котельно-печного топлива идет на нужды литейного, кузнечно-прессового и термического производства. На технологические нужды используется около половины всей потребляемой теплоты и около трети всей электроэнергии. Свыше трети всей электроэнергии идет на механическую обработку. Основными потребителями энергоресурсов в машиностроении являются мартеновские печи, вагранки, плавильные печи, тягодутьевые машины (вентиляторы и дымососы), нагревательные печи, сушилки, прокатные станы, гальваническое оборудование, сварочные агрегаты, прессовое хозяйство.

Причинами малой эффективности использования топлива и энергии в отраслях машиностроения являются низкий технический уровень печного хозяйства, высокая металлоемкость изделий, большие отходы металла при его обработке, незначительный уровень рекуперации сбросной теплоты, нерациональная структура используемых энергоносителей, значительные потери в тепловых и электрических сетях.

Более половины резервов экономии энергоресурсов может быть реализовано в процессе плавки металлов и литейного производства. Остальная экономия связана с совершенствованием процессов металлообработки, в том числе за счет повышения уровня ее автоматизации, расширения использования менее энергоемких по сравнению с металлом пластмасс и других конструкционных материалов.

Доля затрат на топливо и энергию в общих затратах на производство продукции черной металлургии составляет около 1/3.

Наиболее крупными потребителями топлива в отрасли являются доменное и прокатное производство, самыми энергоемкими – ферросплавное, горнорудное, прокатное, электросталеплавильное и кислородное производство, самым теплоемким – коксохимическое производство.

Основными направлениями энергосбережения в этих отраслях являются:

- использование эффективных футеровочных и теплоизоляционных материалов в печах, сушилках и теплопроводах;
- применение тиристорных преобразователей частоты в процессах индукционного нагрева металла в кузнечном и термическом производстве;
- внедрение энергосберегающих лакокрасочных материалов (с пониженной температурой сушки, водоразбавляемых, с повышенным сухим остатком);
- снижение энергозатрат при металлообработке (замена процессов горячей штамповки выдавливанием и холодной штамповкой);

- применение накатки шестерен вместо изготовления на зубофрезерных станках;
- расширение использования методов порошковой металлургии;
- применение станков с ЧПУ (числовым программным управлением), развитие робототехники и гибких производственных структур;
- снижение энергоемкости литья за счет уменьшения брака.

**Химическая и нефтехимическая промышленность.** В этих отраслях промышленности существует разнообразие технологических процессов, при которых потребляется или выделяется большое количество теплоты. Уголь, нефть и газ используются как в качестве топлива, так и в качестве сырья.

Основными направлениями энергосбережения в этих отраслях являются:

- применение высокоэффективных процессов горения в технологических печах и аппаратах (установка рекуператоров для подогрева воды);
- использование погруженных газовых горелок для замены парового разогрева негорючих жидкостей;
- внедрение новой технологии безотходного экологически чистого производства капролактама с получением тепловой энергии в виде пара и горючих газов (ПО "Азот");
- повышение эффективности процессов ректификации (оптимизация технологического процесса с использованием тепловых насосов, повышение активности и селективности катализаторов);
- совершенствование и укрупнение единичной мощности агрегатов в производстве химических волокон;
- снижение потерь топлива и сырья в низкотемпературных процессах;
- перепрофилирование производства аммиака на менее энергоемкое производство метанола (ПО "Азот").

Крупным резервом экономии энергоресурсов в нефтехимической промышленности является утилизация вторичных энергетических ресурсов, в том числе внедрение котлов-utiлизаторов для производства пара и горячей воды с целью утилизации тепла высокопотенциальных газовых выбросов.

Среди промышленных производств выпуск минеральных удобрений является одним из наиболее энергоемких. Энергетические затраты в себестоимости отдельных видов продукции этой отрасли составляют примерно третью часть. Повышение энергетической эффективности связано с необходимостью разработки принципиально новых видов оборудования для производства минеральных удобрений, основанных на применении современных физических, физико-химических и физико-механических воздействий (акустических, вибрационных, электромагнитных) на технологические процессы, в том числе тепломассообменных аппаратов, фильтров, перемешивающих устройств, грануляторов и др.

**Производство строительных материалов.** Производство высококачественных строительных материалов основано на огневых процессах, связанных с расходом значительных количеств мазута, природного газа и кокса, т.е. наиболее ценных топлив. При этом коэффициент полезного использования этих топ-

лив в отрасли не превышает 40 %.

Наибольшее количество энергоресурсов внутри отрасли строительных материалов потребляется при производстве цемента. Наиболее энергоемким процессом в производстве цемента является отжиг клинкера (клинкер — обожженная до спекания смесь известняка и глины — сырья для производства цемента). При так называемом мокром способе производства удельный расход энергоресурсов на отжиг клинкера примерно в 1,5 раза выше, чем при сухом способе. Поэтому важным направлением энергосбережения является применение сухого способа производства цемента из переувлажненного сырья.

В производстве бетона энергосберегающими являются производство и внедрение добавок-ускорителей отвердения бетона для перехода на малоэнергоемкую технологию производства сборного железобетона, а также использование теплогенераторов для тепловлажностной обработки железобетона в ямных камерах; в производстве кирпича — внедрение метода вакуумированных автоклавов на кирпичных заводах, внедрение обжиговых печей панельных конструкций в цельнометаллическом корпусе для производства глиняного кирпича.

Необходимы организация выпуска строительных и изоляционных материалов и конструкций, снижающих теплопотери через ограждающие конструкции, и разработка и внедрение системы мероприятий по использованию потенциала местных видов топлива для обжига стеновой керамики.

*В стекольной промышленности* тепловой КПД пламенных стекловаренных печей (основных потребителей топлива) не превышает 20—25%. Наибольшие энергетические потери происходят через ограждающие конструкции печей (30—40%) и с отходящими газами (30—40%). Главные задачи в области энергосбережения в стекольной промышленности состоят в повышении КПД стекловаренных печей, замещении дефицитных видов органического топлива и в утилизации вторичных тепловых ресурсов.

*В лесной, бумажной и деревообрабатывающей промышленности* основными направлениями энергосбережения являются:

- внедрение экономичных агрегатов для сушки щепы в производстве древесно-стружечных плит;
- разработка и внедрение новых экономичных способов производства бумажных изделий, включая производство нетканых материалов и бумаги с синтетическим волокном;
- увеличение производства мебели менее энергоемкими способами с применением новых видов облицовочных материалов вместо ламинирования;
- изготовление деталей из древесно-стружечных плит;
- утилизация теплоты вентиляционных выбросов и низкопотенциальной теплоты паровоздушных смесей;
- разработка и внедрение оборудования по производству и использованию генераторного газа из древесных отходов для получения тепловой и электроэнергии;
- переоборудование сушильных камер ПАП-32 с электроэнергии на

производство древесных отходов.

Основные направления энергосбережения в легкой промышленности:

- совершенствование технологических процессов обжига фарфора;
- внедрение теплообменников-утилизаторов, использующих теплоту сильного агента теплоиспользующего оборудования на предприятиях легкой промышленности.

В сельском хозяйстве около половины экономии энергии может быть обеспечено в результате внедрения энергосберегающих машин, технологических процессов и оборудования.

Преобладающая доля потенциала энергосбережения приходится на устранение прямого расточительства и повышения экономичности работы сельскохозяйственной техники, сокращение потребления ТЭР животноводческими фермами и тепличными хозяйствами за счет улучшения теплофизических характеристик ограждающих конструкций, утилизации низкопотенциальных ВЭР, оптимизации энергобалансов в сочетании с использованием нетрадиционных источников (биогаза и др.), снижение расходов топлива на сушку зерна, использование экономичных котлов с кипящим слоем вместо электрокотлов, использование отходов (соломы и др.) вместо традиционных видов топлива.

Основные направления энергосбережения в *сельском хозяйстве* наряду с созданием новой техники следующие:

- совершенствование технологии сушки зерна и кормов, методов применения минеральных и органических удобрений;
- разработка и внедрение систем использования отходов растениеводства и животноводства в энергетических целях, а также для производства удобрений и кормовых добавок;
- использование теплоты вентиляционных выбросов животноводческих помещений для подогрева воды и обогрева помещений для молодняка (с применением пластинчатых рекуператоров);
- обеспечение оптимальных температурных режимов и секционирование системы отопления животноводческих помещений;
- применение тепловых насосов в системах теплохладоснабжения и устройств для плавного регулирования работы систем вентиляции, внедрение современных контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, установка приборов учета и контроля энергоресурсов, а также строительство биогазовых установок.

*В пищевой промышленности* к числу наиболее энергоемких относится производство сахара. Основная экономия энергоресурсов в сахарном производстве может быть достигнута в результате совершенствования технологических схем и целенаправленного внедрения энергосберегающего оборудования, использование низкопотенциальной теплоты вторичных паров выпарных и вакуум-кристаллизационных установок и конденсаторов в тепловых схемах.

Энергоемким является также производство спирта. Для снижения расхода теплоты здесь необходимо внедрение ферментативного гидролиза при подготовке крахмала, содержащего сырье к сбраживанию.

Сущность энергосберегающей политики в рассматриваемый период состоит в максимально возможном обеспечении потребности в ТЭР за счет их экономии в промышленности, сельском хозяйстве, коммунально-бытовом секторе и более эффективном использовании в электроэнергетике.

Главные причины неэффективного использования ТЭР в Беларуси обусловлены отсутствием комплексной технической, экономической, нормативно-правовой политики энергосбережения, недостатками проектирования, строительства и эксплуатации, отсутствием технической базы по производству необходимого оборудования, приборов, аппаратуры, средств автоматизации и систем управления.

Потенциал энергосбережения в **электроэнергетике** формируется за счет широкого развития теплофикации на базе ГТУ и ПГУ, модернизации и реконструкции действующих энергетических объектов, совершенствования технологических схем и оптимизации режимов работы оборудования, повышения эффективности процессов сжигания топлива и их автоматизации, внедрения автоматизированных систем управления.

## Контрольные вопросы

1. Перечислите основные приоритетные технические направления энергосбережения в Республике Беларусь
2. Что относится к объектам малой энергетики?
3. Какие меры предусматриваются для повышения эффективности работы промышленных и отопительных котельных?
4. Какие функциональные уровни имеют современные структуры управления?
5. Опишите принцип действия автоматического термостата.
6. Какие подсистемы автоматизации Вы знаете?
7. Назовите достоинства и недостатки приборов учета расхода горячей воды электромагнитного принципа действия.
8. Изобразите схему автоматизации какого-либо энергообъекта.
9. Что собой представляют автоматизированные системы контроля и управления различными энергообъектами.
10. Перечислите основные направления энергосбережения в машиностроении и металлургии.
11. Перечислите основные направления энергосбережения в производстве строительных материалов.
12. Перечислите основные направления энергосбережения в лесной, бумажной и деревообрабатывающей промышленности.
13. Перечислите основные направления энергосбережения в пищевой промышленности.

## **4. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

### **4.1. Перспективы нетрадиционных возобновляемых источников энергии**

Во всем мире усиленно работают над практическим применением нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Их природа определяется процессами на Солнце, в глубинах Земли, гравитационным взаимодействием Солнца, Земли и Луны. Запасы возобновляемых энергоресурсов: энергии Солнца, ветра, рек, морских приливов, недр Земли, растительных энергетических плантаций и т. д. - громадны, по существу, неистощимы.

Установки, работающие на возобновляемых источниках, оказывают гораздо меньшее воздействие на окружающую среду, чем традиционные потоки энергии, естественно циркулирующие в окружающем пространстве. Экологическое воздействие энергоустановок на возобновляемых источниках в основном заключается в нарушении естественного ландшафта.

В настоящее время возобновляемые энергоресурсы используются незначительно. Их применение крайне заманчиво, многообещающе, но требует больших расходов на развитие соответствующих техники и технологий. При ориентации части энергетики на возобновляемые источники важно избежать необоснованной эйфории, правильно оценить их долю, технически и экономически оправданную для применения. Если принять мировой объем использования всех возобновляемых источников энергии за 100%, то существующие минимальный и максимальный сценарии на перспективу 2020г. оценивают долю их различных видов следующим образом: биомассы – 45-42%, солнечной энергии – 20-26%, ветровой – 16%, геотермальной – 7%, энергии малых водотоков -9-5%, океанической энергии – 3-4%. Доля участия возобновляемых источников в покрытии суммарной мировой потребности в первичных ЭР оценивается, согласно этим прогнозам, в 3-12%.

Учитывая истощенность энергетических ресурсов, роль использования возобновляемых источников энергии во многих странах с каждым годом возрастает. Так, выработка электроэнергии на ветряных установках увеличивается в среднем в год на 24 %, от солнечных батарей – на 17, а на геотермальных станциях – на 4%. В Дании на ветроустановках вырабатывается 10 % всей производимой в стране электроэнергии, в германской земле Шлезвиг-Гольштейн - 14, в провинции Наварра (Испания) - 22 %.

Задача оценить, использовать потенциал возобновляемых ресурсов, найти их место в топливно-энергетическом комплексе стоит перед экономикой Беларуси. Ее решение позволит снизить зависимость экономики республики от импорта ЭР, будет способствовать ее стабильности и развитию. 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 неуправляемых 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 (паровые котлы, ядерные реакторы), *плотности потоков энергии и рассеянность их в пространстве*. Поэтому энергоустановки на возобновляемых источниках эффективны при небольшой единичной мощности, и прежде всего для сельских районов.

3. *Применение возобновляемых ресурсов эффективно лишь при комплексном подходе к ним*. Например, отходы животноводства и растениеводства на агропромышленных предприятиях одновременно могут служить сырьем для производства метана, жидкого и твердого топлива, а также удобрений.

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 км.

Основными нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии для Беларуси, могущими иметь практическое значение, являются *биомасса, гидро-, ветроэнергетические ресурсы, солнечная энергия, твердые бытовые отходы, геотермальные ресурсы*.

## 4.2. Биологическая энергия

Под действием солнечного излучения в растениях образуются органические вещества и аккумулируется химическая энергия. Этот процесс называется фотосинтезом. Животные существуют за счет прямого или косвенного получения энергии и вещества от растений. Этот процесс соответствует трофическому уровню фотосинтеза. В результате фотосинтеза происходит естественное преобразование солнечной энергии. Вещества, из которых состоят растения и животные, называют биомассой. Посредством химических или биохимических процессов биомасса может быть превращена в определенные виды топлива: газообразный метан, жидкий метanol, твердый древесный уголь. Продукты сгорания биотоплива путем естественных экологических или сельскохозяйственных процессов вновь превращаются в биотопливо.

Энергия биомассы может использоваться в промышленности, домашнем хозяйстве. Так, в странах, поставляющих сахар, за счет отходов его производства покрывается до 40% потребностей в топливе. *Биотопливо* в виде дров, навоза и ботвы растений применяется в домашнем хозяйстве примерно 50% населения планеты для приготовления пищи, обогрева жилищ.

Существуют различные энергетические способы переработки биомас-

сы:

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

В последнее время появились проекты создания *искусственных энергетических плантаций* для выращивания биомассы и последующего преобразования биологической энергии. Для получения тепловой мощности равной 100 МВт потребуется около 50м<sup>2</sup> площади энергетических плантаций. Более широкий смысл имеет понятие энергетических ферм, которое подразумевает производство биотоплива как основного или побочного продукта сельскохозяйственного производства, лесоводства, речного и морского хозяйства, промышленной и бытовой деятельности человека.

В климатических условиях Беларуси с 1 га энергетических плантаций собирается масса растений в количестве до 10 т сухого вещества, что эквивалентно примерно 5 т. у. т. При дополнительных агроприемах продуктивность 1 га может быть повышенена в 2-3 раза. Наиболее целесообразно использовать для получения сырья выработанные торфяные месторождения, площадь которых в республике составляет около 180 тыс. га. Это может стать стабильным экологически чистым и биосферно совместимым источником энергетического сырья.

Весьма многообещающе для Беларуси использование в качестве биомассы отходов животноводческих ферм и комплексов. Получение из них биогаза может составить около 890 млн. м<sup>3</sup> в год, что эквивалентно 160 тыс. т.у.т. Энергосодержание 1м<sup>3</sup> биогаза (60-75% метана, 30-40% углекислого газа, 1,5% сероводорода) составляет 22,3 МДж, что эквивалентно 0,5 м<sup>3</sup> очищенного природного газа, 0,5 кг дизельного топлива, 0,76 кг условного топлива. Сдерживающим фактором развития биогазовых установок в республике являются продолжительные зимы, большая металлоёмкость установок, неполная обеззараженность органических удобрений. Важным условием реализации потенциала биомассы является создание соответствующей инфраструктуры – от заготовки, сбора сырья до доставки конечной продукции потребителю. Биоэнергоустановку рассматривают в первую очередь как установку для производства органических удобрений и попутно – для получения биотоплива, позволяющего получить тепловую и электрическую энергию.

**Термохимические методы переработки биомассы.** *Пиролиз* – процесс нагревания биомассы либо в отсутствие воздуха, либо за счет сгорания некоторой ее части при ограниченном доступе воздуха или кислорода. КПД процесса пиролиза достигает 80-90 %.

В качестве исходного энергетического продукта в процессе пиролиза могут использоваться:

- *органическое топливо (уголь, сланцы, торф и т. д.);*
- *древесные отходы;*
- *сельскохозяйственные отходы (солома, ботва растений и т. п.);*

- биобрикеты и т. д.

Состав получаемых при этом вторичных энергетических продуктов чрезвычайно разнообразен. Изменение состава продуктов пиролиза зависит от температурных условий, типа вводимого в процесс сырья, способов ведения процесса. Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза, имеют несколько меньшую по сравнению с исходной биомассой суммарную энергию сгорания, но отличаются большей универсальностью применения:

- лучшей управляемостью процесса горения и соответственно повышением его энергоэффективности;
- большей технологичностью, более широким диапазоном возможных потребителей и соответственно более высокими экономическими и качественными показателями.

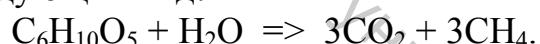
**Газификация** – способ ведения процесса пиролиза, при котором основным энергетическим продуктом является горючий газ. Газогенератор – устройство, в котором реализуется процесс газификации. В состав образующегося в газогенераторе генераторного газа входят следующие горючие компоненты: окись углерода, водород, газообразные углеводороды, метан.

Следует указать, что верхняя граница температуры прохождения реакции газогенерации ограничена значениями 1100-1200 °С (температура плавления золы).

**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 углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и метана ( $\text{CH}_4$ ). Энергетическая эффективность процесса сжигания биогаза может достигать 60-90 % эффективности сжигания сухого исходного материала.

Основное уравнение, описывающее процесс анаэробного разложения биомассы (на примере целлюлозы) имеет следующий вид:



**Биогазогенератор** – устройство, в котором реализуется процесс преимущественного получения  $\text{CH}_4$  посредством анаэробного разложения исходной биомассы. Конструкции биогазогенераторов отличаются чрезвычайным разнообразием как по организации собственно технологического процесса анаэробной переработки биомассы, так и по составу исходного продукта (рис. 4.1). В мире эксплуатируется 8 млн. установок для

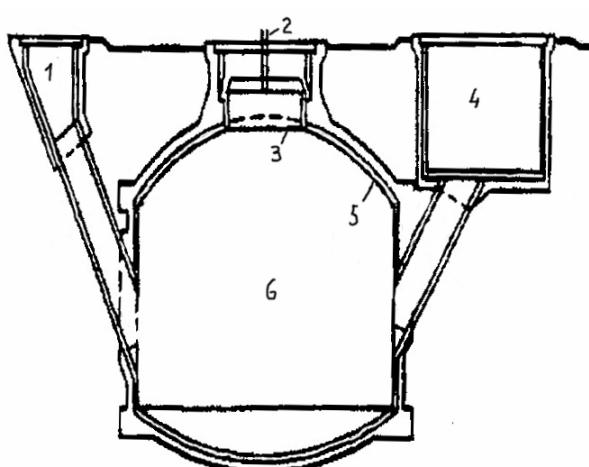


Рис. 4.1. Схема китайского метан-тенка: 1 - ввод материала; 2 - газопровод; 3 - съемная крышка; 4 - вывод переработанного материала; 5 - разделяительная стенка; 6 – ферментатор.

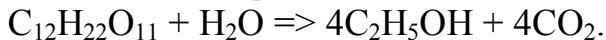
получения биогаза.

*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:

*Дрожжи*



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 %-го этанола в модернизированных двигателях;
- смеси 100 %-го (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.

*Фотолиз* - 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  $O_2$  и  $H_2$ .

Некоторые биологические организмы производят или могут при определенных условиях производить водород путем биофотолиза.

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

**Агрехимические методы переработки биомассы. Экстракция топлив** – процесс получения жидких или твердых топлив прямо от растений или животных.

Продукцию растений можно разделить на ряд категорий: семена (подсолнечник, рапс), орехи (пальмовое масло, копра, кокосов), плоды (оливки) и др.

Для Республики Беларусь перспективным представляется разработка технологий для получения экологически чистого топлива для дизельных двигателей из рапса (рис. 4.2). При этом получаются ценные сопутствующие продукты (твердое топливо, жмы, техническое мыло, глицерин). Образуется небольшое количество сточных вод, отсутствуют вредные газообразные выбросы.

Перспективным представляется способ получения агрехимических топлив, который основан на *культивировании специализированных микроводорослей*. Исследования возможности использования микроводорослей в процессе экстракции топлив показали, что содержание в них углеводородов – основного горючего компонента – может быть довольно значительным. Так, в сухих клетках зеленой расы микроводоросли «ботриококкус браунии» содержится от 1 до 36 % углеводородов, а в сухих клетках коричневой расы – до 86%. Предполагается,

что залежи нефти обязаны своим происхождением предкам именно этих микроводорослей. Углеводороды, вырабатываемые «ботриококкус брауни», в основном локализованы на наружной поверхности клетки и могут быть удалены механическими методами. Оставшуюся биомассу можно подвергнуть гидрокрекингу, в результате которого получают 65 % газолина, 15 % авиационного топлива, 3 % остаточных масел.



*Рис. 4.2. Культура рапс и установка по получению биодизеля*

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 г. предусматривает ряд крупномасштабных мероприятий в области биоэнергетики. Считается, что применение биоэнергетических установок по переработке отходов животноводства позволит существенно улучшить экологическую обстановку вблизи крупных животноводческих комплексов, где к настоящему времени скопились огромные количества непереработанной биомассы. Кроме того, можно рассчитывать на получение высококачественных органических удобрений и за счет производства биогаза обеспечить экономию 116 тыс. т условного топлива в год.

### **4.3. Гидроэнергетические ресурсы и ветроэнергетика**

**Гидроэнергетика** – это область наиболее развитой на сегодня энергетики на возобновляемых ресурсах, использующая энергию падающей воды, волн (амплитуда волн в некоторых районах мирового океана достигает 10 м) и приливов. Цель гидроэнергетических установок – преобразование потенциальной энергии волны в механическую энергию вращения гидротурбины. В главе 2 были рассмотрены принципы работы гидроэлектростанций (ГЭС) и гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС), указаны их характеристики и роль в энергосистеме.

Преобразование гидроэнергии в электрическую стало возможным в конце XIX в. Крупные гидроэлектростанции начали строиться на рубеже XIX и XX вв. Наносимый окружающей среде их водохранилищами ущерб: уничтожение флоры, фауны, плодородных земель в результате затопления, климатические изменения, потенциальная угроза землетрясений и др., заиливание гидротурбин, их коррозия, большие капитальные затраты на сооружение — вот наиболее сложные проблемы, связанные с сооружением и эксплуатацией ГЭС. Гидроэнергетический потенциал всех рек мира оценивается в 2857 ГВт, приливов — в 13 ГВт. Маловероятно, что когда-либо он будет полностью освоен. В ближайшие десятилетия установленная мощность ГЭС в целом будет расти при одновременном снижении их доли в суммарной выработке электроэнергии в мире. Вырабатываемую ГЭС энергию легко регулировать, и она преимущественно используется для покрытия пиковой части графика нагрузки энергосистем с целью улучшения работы базисных электростанций (ТЭС, КЭС, АЭС).

Гидроресурсы Беларуси оцениваются в 850-1000 МВт. Однако практически реализуемый потенциал малых рек и водотоков составляет едва ли 10% этой величины, что эквивалентно экономии 0,1 млн. т.у.т. Для достижения большего пришлось бы затопить значительные площади из-за равнинного характера рек.

Республика Беларусь — преимущественно равнинная страна, тем не менее ее гидроэнергетические ресурсы достаточно существенны. Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 г. в качестве основных направлений развития малой гидроэнергетики в стране предусматривает:

- восстановление ранее действовавших малых гидроэлектростанций на существующих водохранилищах путем капитального ремонта и частичной замены оборудования;
- строительство новых малых ГЭС на водохранилищах незаводственного назначения без затопления;
- создание малых ГЭС на промышленных водосбросах;
- сооружение бесплотинных (русловых) ГЭС на реках со значительными расходами воды.

Как правило, все восстанавливаемые и вновь сооружаемые малые ГЭС будут работать параллельно с действующей энергосистемой, что позволит значительно упростить схемные и конструктивные решения.

Общую мощность малых ГЭС в республике предполагается довести к 2010 г. до 100 МВт, что обеспечит экономию 120 тыс. т условного топлива в год. Бассейны рек Западная Двина и Неман, протекающих по территории Беларуси, относятся к зонам высокого гидроэнергетического потенциала, и использование его еще в 40-х годах XX в. намечалось путем строительства многоступенчатых каскадов ГЭС. В настоящее время разработан проект создания каскада из 4 ГЭС на р. Западная Двина со строительством ГЭС в районе Витебска, Бешенковичей и Полоцка и еще одной ниже по течению с общей установленной мощностью 132 МВт и ежегодной выработкой электроэнергии 530 МВт•ч. Требуемые капитальные вложения для реализации этого проекта составляют около 120 млн долларов США. Аналогичный проект разработан и для р. Неман со строительством

ГЭС в районе г. Гродно и д. Немново с общей установленной мощностью каскада 45 МВт. Этот проект требует около 40 млн долларов США капитальных вложений.

**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 суши и обратно в течение суток (брисы) и года (муссоны). Полезно может быть использовано лишь 5% указанной величины энергии ветра. Используется же значительно меньше. Выявим причины этого и перспективы развития ветроэнергетики.

Наиболее эффективный способ утилизации энергии ветра – производство электроэнергии. В ветроэнергетической установке (ВЭУ) кинетическая энергия движения воздуха превращается в энергию вращения ротора генератора, который вырабатывает электроэнергию. Выходная мощность установки пропорциональна площади лопастей ветрового ротора и скорости ветра в кубе. Поэтому ВЭУ большой мощности оказываются крупногабаритными, ведь скорость ветра в среднем бывает небольшой. Для защиты от разрушения сильными случайными порывами ветра установки проектируются со значительным запасом прочности. Трудности в использовании ВЭУ связаны с непостоянством скорости ветра. Приходится управлять частотой вращения ветроколеса и согласовывать ее с частотой вращения электрогенератора. Кроме того, в периоды безветрия электроэнергия не производится. Для исключения перерывов в электроснабжении ВЭУ должны иметь аккумуляторы энергии. Крупномасштабное применение ВЭУ в каком-то одном районе может вызвать значительные климатические изменения, испортить ландшафт. ВЭУ создают шум и электромагнитные помехи.

Научные разработки и исследования ориентированы на использование ВЭУ по двум направлениям: в региональных энергосистемах и для местного (автономного) энергоснабжения. Функционируют ВЭУ мощностью до 200 кВт, и созданы установки мощностью 3-4 МВт. Срок службы таких генераторов около 20 лет. Стоимость вырабатываемой ими электроэнергии будет меньше, чем ТЭС на жидкое топливо. Устанавливаться такие ВЭУ могут на открытых равнинных местах. Ветроустановки мощностью от 10 до 100 кВт для автономного энергоснабжения жилых помещений, ферм и других потребителей могут применяться в странах с высоким жизненным уровнем.

Доля ветроэнергетики Великобритании и Германии оценена в 20%. Наибольшая доля (до 30%) в производстве электроэнергии получена в 1993 г. в Дании, где ветровые турбины рассеяны по всей стране. Строительство современных ВЭУ началось здесь в конце 70-х годов. А в начале 80-х в штате Калифорния (США) наблюдался особенно интенсивный рост ВЭУ. Принятие здесь закона о налоговых льготах на инвестиции в возобновляемые источники энергии в дополнение к федеральным налоговым льготам создало благоприятную обстановку. В результате Калифорния превратилась в мирового лидера по произ-

водству электроэнергии из ветра. США могут потерять это лидерство, так как в ЕС поставили цель вырабатывать 8 тыс МВт ветровой электроэнергии, что составляет 1% потребностей не в электроэнергии. Дания, Германия и Нидерланды должны вырабатывать электроэнергии из ветра по крайней мере до 5000 МВт.

Стоимость ветровой энергии снижается на 15% в год и даже сегодня может конкурировать на рынке, а главное – имеет перспективы дальнейшего снижения в отличие от стоимости энергии, получаемой на АЭС; при этом темпы роста ветроэнергетики в настоящее время превышают 25% в год. Использование энергии ветра в различных государствах набирает силу.

Территория Республики Беларусь находится в умеренной ветровой зоне. Стабильная скорость ветра составляет 4-5 м/с и соответствует нижнему пределу устойчивой работы отечественных ВЭУ. Это позволяет использовать лишь 1,5-2,5% ветровой энергии. К зонам, благоприятным для развития ветроэнергетики, со среднегодовой скоростью ветра выше 5-5,5 м/с относится 20% территории страны. Поэтому ветроэнергетику можно рассматривать в качестве *вспомогательного энергоресурса*, решающего местные проблемы, например, отдельных фермерских хозяйств. По некоторым оценкам, возможная установленная мощность ВЭУ к 2010 г. в республике может составить 1500 кВт.

Ветровые установки классифицируются по двум основным признакам – геометрии ветрового колеса и ориентации оси вращения ветрового колеса относительно направления ветра. Установки, использующие подъемную силу (лифт-машины), имеют, как правило, линейную скорость концов лопастей ветрового колеса больше скорости ветра.

Основным направлением использования ВЭУ в нашей республике на ближайший период будет применение их для привода насосных установок и как источников энергии для электродвигателей. Перспективны ВЭУ в сочетании с МГЭС для перекачки воды.

Автономные ВЭУ обязательно должны комплектоваться резервными дизельными источниками электроэнергии или аккумуляторными батареями.

#### **4.4. Солнечная энергия**

Лучистая энергия Солнца, поступающая на Землю, – практически неисчерпаемый источник. Огромная энергия образуется на Солнце за счет синтеза легких элементов – водорода и гелия.

Радиационное излучение характеризуется также числом часов солнечного сияния, которое для Беларуси и среднеевропейской части России составляет от 1750 до 1850 ч в год в зависимости от региона. Такая же величина характерна, например, и для Швеции, где солнечная энергетика имеет достижения и поддерживается государством.

Минимальное число дней без солнца приходится на декабрь. По данным многочисленных наблюдений, таких дней бывает один или два. Напротив, в июле наибольшее количество солнечных дней – 19-22.

Известно **два направления использования** солнечной энергии. Наиболее

реальным, находящим относительно широкое распространение в таких странах, как Австралия, Израиль, США, Япония, является преобразование солнечной энергии в тепловую и использование в нагревательных системах. Второе направление – системы непрямого и прямого преобразования в электрическую энергию.

**Горячее водоснабжение.** В системах горячего водоснабжения и отопления используются плоские солнечные коллекторы.

*Солнечный коллектор* представляет собой теплообменный аппарат с каналами, через которые проходит теплоноситель. Часть солнечной радиации поглощается поверхностью теплообмена и передается теплоносителю.

Простейшим накопителем энергии в форме теплоты является емкость, заполненная водой. Если емкость не изолирована и открыта – эффективность аккумулирования теплоты наименьшая, если закрыта и установлена на теплоизолирующей площадке – эффективность будет выше.

*Плоский коллектор* поглощает прямое и рассеянное солнечное излучение. В связи с тем, что потоки солнечных лучей носят нерегулярный характер, для надежного теплоснабжения следует использовать двухконтурные схемы с резервным источником теплоты в виде теплоэлектроагрегата. Оптимальный угол расположения коллектора к горизонту превышает широту местности на 10 - 15°.

**Солнечное отопление.** Солнечное отопление делится на активное и пассивное.

*Активное солнечное 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.

Согласно схеме воздушного отопления в солнечный день с помощью вентилятора организуется циркуляция воздуха по замкнутому контуру через коллектор и галечный аккумулятор. Вечером или в прохладный день реализуется режим, при котором поток холодного воздуха проходит через аккумулятор, воспринимает накопленную теплоту и поступает в отапливаемое помещение. При необходимости воздух дополнительно нагревается с помощью резервного нагревателя.

*Пассивные системы солнечного отопления* используют ориентированные в южном направлении остекленные элементы строительных конструкций больших площадей для накопления и переноса теплоты потребителю.

В течение отопительного сезона трехслойные окна могут обеспечить такие же тепловые поступления, как и тепловые потери. Другой подход включает строительство зданий с теплоаккумулирующей стеной, расположенной за остеклением. Большая тепловая инерционность строительных стеновых материалов позволяет использовать накопленную теплоту в пасмурные дни и ночное время. Стены также могут являться пассивными солнечными коллекторами, ес-

ли они будут включать конвективные каналы.

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

*Термомеханический способ* основан на передаче теплоты теплоносителю с генерацией пара и дальнейшим ее преобразованием по традиционной схеме в механическую и электрическую энергию.

Для создания больших плотностей потоков солнечной радиации и соответственно тепловой энергии используются солнечные концентраторы параболического или сферического типа, которые сфокусированы на поверхность теплоприемника (рис. 4.3). В подобных конструкциях солнечных коллекторов 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.

Теплоприемник с теплоносителем может располагаться отдельно от концентратора. Тогда на нем фокусируются солнечные лучи от концентраторов, размещенных на большой площади. По такому принципу, например, 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.

Недостатком рассмотренных конструкций солнечных электростанций является периодический характер их работы. Они работают тогда, когда светит Солнце. Более перспективными являются гибридные солнечно-топливные электростанции с распределенными теплоприемниками.

В основе **фотоэлектрического способа** прямого преобразования солнечного излучения в электроэнергию лежит явление фотоэффекта. Базовыми элементами данной технологии являются устройства, называемые соответственно *фотоэлементами* или *солнечными элементами* (рис. 4.4). Некоторые из фотоэлементов представляют собой кремниевые полупроводниковые фотодиоды, где происходит разделение положительных и отрицательных носителей заряда при поглощении электромагнитного излучения.

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

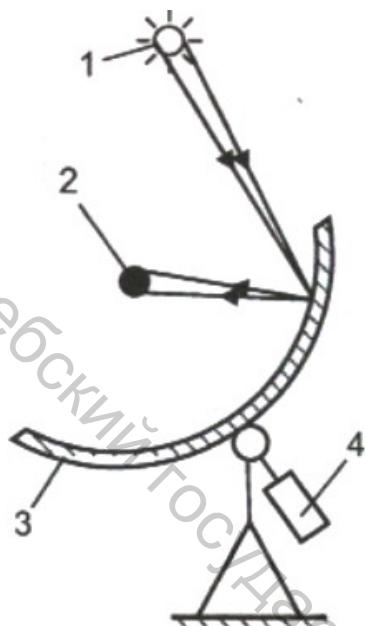


Рис. 4.3. Сечение параболического концентратора:  
1 - солнце (солнечные лучи);  
2 - теплоприемник; 3 - концентратор;  
4 - следящее устройство



*Рис. 4.4. Солнечные элементы*

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

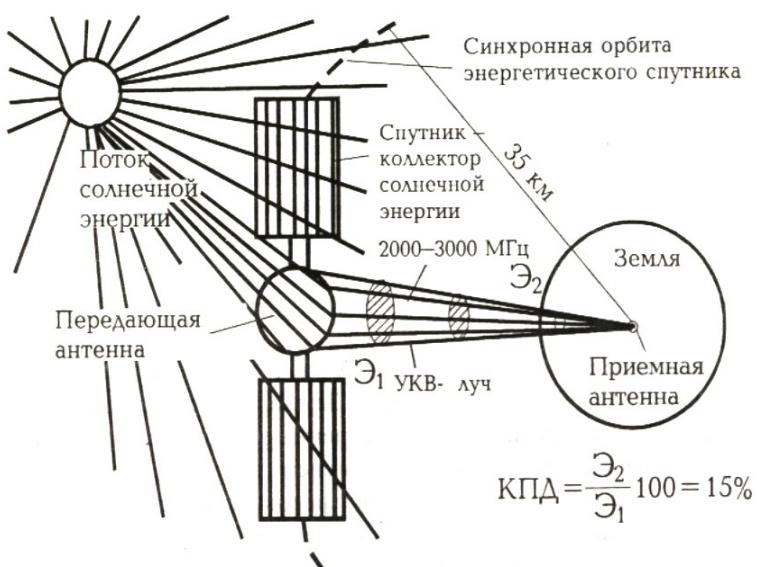
Практические области применения фотоэлектрического преобразова-

ния солнечной энергии сегодня:

- уличное освещение, зарядные устройства, потребительские товары (фотоаппараты, калькуляторы, часы и т.д.);
- электромобили;
- автономные потребители (0,01-10 кВт): насосы, ирригация, холодильники, вентиляторы, аэрация водоемов, мобильные сельскохозяйственные установки, энергообеспечение домов, системы телекоммуникации и сигнализации;
- так называемые солнечные дома, имеющие солнечные модули (1-20 кВт) на крышах, объединенные с энергосистемой;

- центральные солнечные станции (50-5000 кВт), снабжающие энергией поселки и небольшие города.

Что касается **крупных электростанций**, то предложено два варианта реализации принципа фотоэлектрического преобразования. Первый заключается в создании солнечных станций на искусственных спутниках Земли, оборудованных солнечными панелями из фотоэлементов площадью от 20 до 100 км<sup>2</sup> в зависимости от мощности станции. Вырабатываемая на



*Рис. 4.5. Схема солнечной электростанции на искусственном спутнике*

спутниках электроэнергия будет преобразовываться в электромагнитные волны в микроволновом диапазоне частот, направляться на Землю, где приниматься приемной антенной (рис. 4.5). Второй вариант предполагает монтаж сборных панелей солнечных фотоэлектрических элементов в малообеспеченных и малоиспользуемых пустынных районах Земли. Для реализации этих проектов предстоит провести большой объем научных исследований и решить серьезные научно-технические проблемы.

Интересны примеры использования солнечной энергии в разных странах.

В условиях Великобритании жители сельской местности покрывают потребность в тепловой энергии на 40—50% за счет использования энергии Солнца.

В Германии (под Дюссельдорфом) проводились испытания солнечной водонагревательной установки площадью коллекторов  $65 \text{ м}^2$ . Эксплуатация установки показала, что средняя экономия тепла, расходуемого на обогрев, составила 60%, а в летний период — 80–90%. Для условий Германии семья из 4 человек может обеспечить себя теплом при наличии энергетической крыши площадью 6–9 м<sup>2</sup>.

Современные солнечные коллекторы могут обеспечить нужды сельского хозяйства в теплой воде в летний период на 90%, в переходный период — на 55–65%, в зимний — на 30%.

В Австрии установлено, что для обеспечения 80% теплой водой в жилых сельских домах на 1 человека требуется установка солнечных коллекторов с поверхностью 2–3 м<sup>2</sup> и емкостью бака для воды 100–150 л. Установка площадью 25 м<sup>2</sup> с емкостью для нагретой воды на 1000–1500 л обеспечивает теплой водой 12 человек или небольшой сельский двор.

Наиболее эффективно в странах ЕС солнечные энергоустановки эксплуатируются в Греции, Португалии, Испании, Франции: выработка энергии солнечными энергоустановками составляет соответственно 870 000, 290 000, 255 200, 174 000 МВт · ч в год. В целом по Европейскому союзу вырабатывается 185600 МВт · ч в год (по данным 1992 г.).

Наибольшей суммарной площадью установленных солнечных коллекторов располагают: США — 10 млн. м<sup>2</sup>, Япония — 8 млн. м<sup>2</sup>, Израиль — 1,7 млн. м<sup>2</sup>, Австралия — 1,2 млн. м<sup>2</sup>.

В настоящее время 1 м<sup>2</sup> солнечного коллектора вырабатывает электрической энергии: 4,86-6,48 кВт в сутки; нагревает воды в сутки 420-360 л (при 30°C).

Для территории Беларуси свойственны относительно малая интенсивность солнечной радиации и существенное изменение ее в течение суток и года. В этой связи необходимо отчуждение значительных участков земли для сбора солнечного излучения, весьма большие материальные и трудовые затраты. По оценкам, для обеспечения потребностей Беларуси в электроэнергии при современном техническом уровне требуемая площадь фотоэлектрического преобразования составляет 200-600 км<sup>2</sup>, т.е. 0,1-0,3% площади республики. Появились предложения об использовании территории Чернобыльской зоны для строи-

тельства площадок солнечных и ветровых электростанций.

Для пашей республики реально использование солнечной энергии для сушки кормов, семян, фруктов, овощей, подъема и подогрева воды на технологические и бытовые нужды. В результате возможная экономия ТЭР оценивается всего в 5 тыс. т.у.т./год. В республике начат выпуск гелиоводонагревателей и уже накоплен некоторый опыт их эксплуатации.

#### **4.5. Геотермальные ресурсы**

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, с потоками воды горячих ключей и гейзеров.

Термальные воды широко применяются для отопления и горячего водоснабжения в ряде стран: Исландии, Австралии, Новой Зеландии, Италии. Столица Исландии Рейкьявик почти полностью обогревается теплотой подземных вод.

В Новой Зеландии, Италии, США работают геотермальные электростанции (ГеоТЭС). 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 км<sup>2</sup> 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 (2000-3000 м), их высокая минерализация (330-450 г/дм<sup>3</sup>), низкий дебит скважин (100-150 м<sup>3</sup>/суткн) не позволяют в настоящее время рассматривать термальные воды в качестве заслуживающего внимания источника энергии.

#### **4.6. Твердые бытовые отходы**

В жилых и общественных зданиях (школах, вузах, детсадах, магазинах, столовых и т.д.) образуются твердые бытовые отходы (ТБО). Содержание органического вещества в них составляет 40-75%, углеводов – 35-40%, зольность – 40-70%. Количество горючих компонентов в ТБО равно 50-88%. Их теплотворная способность – 800-2000 ккал/кг. Бытовые отходы содержат также трудно разлагаемые химические элементы, в их числе хлорорганические и токсичные.

В большой степени ТБО обогащены кадмием, оловом, свинцом и медью.

В мировой практике получение энергии из ТБО осуществляется сжиганием или газификацией. В Японии, Дании, Швейцарии сжигается около 70% твердых бытовых отходов, остальная часть складируется на полигонах или компостируется. В США сжигается около 14% ТБО, в Германии – 30%, Италии – 25%. В Республике Беларусь общий энергетический потенциал ТБО оценивается в 20-23 млн. тут, из них только 8-10% перерабатывается и используется в производстве. Ежегодно накапливается 2,4 млн. тонн ТБО с потенциальной энергией 470 тыс. т.у.т. Учитывая бедность республики энергетическими ресурсами, необходимо вовлечь ТБО в ее энергопотенциал путем применения прогрессивных технологий, заимствованных из опыта других стран, либо развернуть исследования и создать собственные технологии переработки ТБО.

Ежегодно в республике накапливается 2 млн т твердых *бытовых отходов* (ТБО) в виде бумаги, текстиля, пищевых отходов, дерева, которые вывозятся десятками и сотнями тысяч тонн на городские свалки, занимающие в республике 850 га, и лишь 4 % утилизируются на опытном заводе по переработке отходов в Минске. На одного горожанина в 1999 году приходилось 267 кг бытового мусора. Подсчитано, что в случае утилизации всех ТБО только под Минском может быть получено 220 млн м<sup>3</sup> биогаза, что составляет 170 тыс. т у.т в год, а вся потенциальная энергия, заключенная в ТБО, по республике эквивалентна 470 тыс. т.у.т. в год.

**Общая оценка.** Как видно, общие возможности экономии ТЭР за счет применения нетрадиционных и возобновляемых источников для условий РБ ограничены. Их потенциал оценивается по различным оценкам от 1 до 12% 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 энергетики. На правительственном уровне в РБ 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.

## Контрольные вопросы

1. *Какие виды энергии получают от возобновляемых источников?*
2. *Каковы особенности возобновляемых источников энергии по сравнению с традиционными невозобновляемыми?*
3. *Перечислите нетрадиционные возобновляемые источники энергии, которые могут иметь практическое значение для Республики Беларусь.*

4. Назовите известные Вам энергетические способы переработки биомассы.
5. Дайте определение понятию «искусственная энергетическая плантация».
6. Перечислите термохимические методы переработки биомассы.
7. Изобразите схему промышленного газогенератора.
8. Перечислите биохимические методы переработки биомассы.
9. Изобразите схему установки для промышленной переработки отходов животноводства.
10. Перечислите известные Вам арохимические методы переработки биомассы.
11. Каковы основные направления развития малой гидроэнергетики в Беларусь?
12. Охарактеризуйте возможности использования ветроэнергетических ресурсов в Республике Беларусь.
13. Классифицируйте ВЭУ по типу исполнения и ориентации ветровых колес
14. Перечислите направления использования солнечной энергии.
15. Опишите системы использования солнечной энергии для горячего водоснабжения.
16. Дайте определение понятиям «активного и пассивного водоснабжения».
17. Изобразите схему воздушной системы солнечного отопления.
18. Опишите способы использования солнечной энергии для выработки электроэнергии.
19. Охарактеризуйте возможности использования геотермальных ресурсов и твердых бытовых отходов в Республике Беларусь.

## 5. ТРАНСПОРТ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ

### 5.1. Транспортировка теплоты

Транспортировка преобразованной энергии от источника к потребителю осуществляется в большинстве случаев по трубопроводам с помощью теплоносителей, что сопряжено с ее потерями на преодоление гидравлического сопротивления. Дополнительная составляющая потеря энергии в виде теплоты существует при транспортировке горячих энергоносителей – воды и пара, воздуха и др.

Транспортировка теплоты осуществляется с помощью теплопроводов. Теплопроводы конструктивно включают: трубу для транспортировки энергоносителя; тепловую изоляцию, защитный кожух.

Наиболее ответственными элементами являются *трубы*, которые должны быть достаточно прочными и герметичными при максимальных давлениях и температурах теплоносителя, стойкими, с высоким термическим сопротивлением.

ем стенок, способствующим сохранению теплоты, неизменностью свойств материала при длительном воздействии высоких температур и давлений.

В настоящее время в системе холодного и горячего водоснабжения все больше применение находят пластмассовые трубы. Срок службы их составляет для холодного водоснабжения – 50, для горячего – 30 лет. Стальные трубы могут служить 7-15, чугунные – 15-20 лет. При этом трудоемкость монтажа пластмассовых труб в 2-3 раза ниже, чем стальных или чугунных. Они эластичны, устойчивы к коррозии, обладают высокими гидравлическими свойствами и не требуют ухода, сохраняя при этом необходимую чистоту.

**Тепловая изоляция** накладывается на трубопроводы для снижения потерь теплоты при транспортировке теплоносителя. Потери тепловой энергии в магистральных и квартальных эксплуатируемых теплосетях во многом определяются качеством изоляционных материалов, технологией их применения и условиями эксплуатации трубопроводов.

Широкое применение в качестве изоляционного материала для теплосетей имеют стекловата и минеральная вата в виде матов. Применяются они для утепления труб, на которые не передаются механические нагрузки (внутри помещений и в канальной прокладке). Для утепления труб или конструкций, подверженных вибрациям, применяют маты, усиленные металлической сеткой. В местах, где возможно увлажнение, применяют исключительно минеральную вату и дополнительную изоляцию в виде алюминиевой фольги, штукатурки по металлической сетке и т. д.

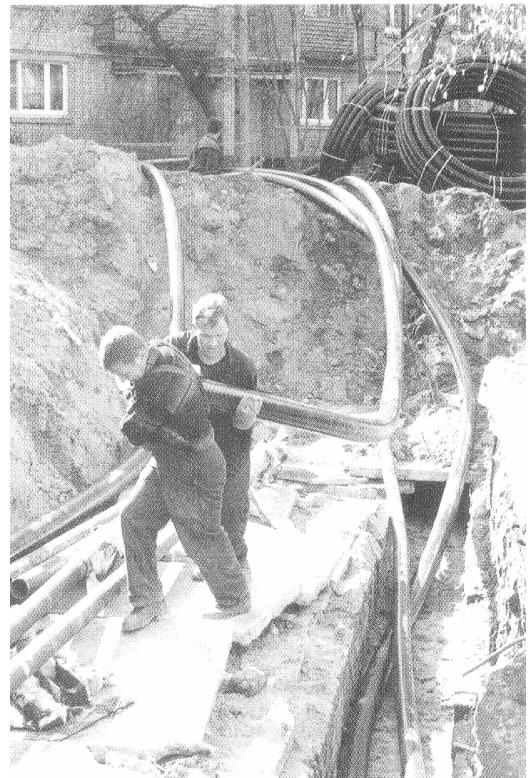
Температура на поверхности изоляционной конструкции не должна быть выше 60 °С. Толщина слоя изоляции определяется на основе расчетов.

**Прокладка трубопроводов** производится надземным и подземным способами. Надземная прокладка применяется при высоком уровне грунтовых и вешних вод, на территории промышленных предприятий, при пересечении оврагов, рек, многоколейных железнодорожных путей. При подземной прокладке трубопроводы размещаются либо непосредственно в грунте (бесканальная прокладка), либо в непроходных, полупроходных и проходных каналах.

В последнее время все более широкое применение при бесканальной прокладке теплотрасс находят предварительно изолированные трубы (ПИ-трубы) и гибкие трубы. ПИ-трубы представляют цельную конструкцию, состоящую из полиэтиленового или металлического кожуха. Внутри ее находится металлическая стеклопластиковая или полипропиленовая труба, а пространство между трубой и кожухом заполнено теплоизоляционным материалом плотностью более 80 кг/м<sup>3</sup> таким образом, что подающая и защитная труба связаны силовым замыканием.

Гибкие трубы (рис. 5.1.) значительно облегчают процесс прокладки трубопровода, а также его стоимость.

В канальных трубопроводах каналы сооружаются из сборных железобетонных элементов. Основное достоинство проходных каналов заключается в возможности доступа к трубопроводу, его ревизии без вскрытия грунта.



*Рис. 5.1. Гибкие теплоизолированные полимерные трубы*

Последнее время все более широкое применение получают фасонные теплоизоляционные изделия из пенополиуритана (рис. 5.2), которые отличаются высокими теплоизоляционными свойствами, технологичностью в применении, долговечностью, безопасностью и биохимической устойчивостью, механической прочностью.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду можно рекомендовать следующее:

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

Теплоносителем называют вещество, служащее для доставки теплоты от источника к потребителю. Таким образом, доставка теплоты неразрывно связана с переносом массы самого теплоносителя, а для осуществления подвода и отвода теплоты необходимы, по крайней мере, два теплообменника.

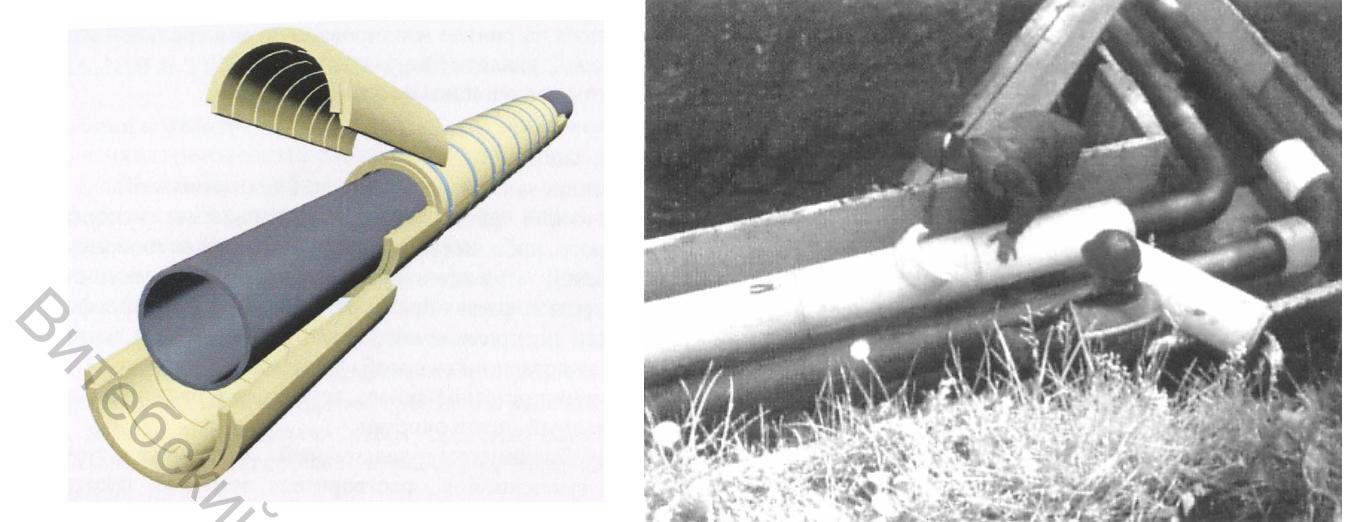


Рис. 5.2. Фасонные теплоизоляционные изделия из пенополиуритана

## 5.2. Теплоносители

К веществам, используемым в качестве теплоносителей, предъявляют ряд специфических требований. Теплоноситель должен быть удобен для транспортировки от источника тепловой энергии к потребителю. С этой точки зрения наиболее подходят жидкие и газообразные теплоносители, которые можно транспортировать по трубопроводам. Единицей объема теплоносителя должно переноситься максимальное количество теплоты. Следовательно, удельная (на единицу массы) энталпия теплоносителя у источника и потребителя должна изменяться максимально, насколько это возможно, а плотность теплоносителя должна быть наибольшей. Выполнение этих условий обеспечивает минимальный объемный расход теплоносителя, т. е. позволяет уменьшить сечение трубопровода, по которому он движется, а также уменьшить скорость движения. В конечном итоге снижаются капитальные затраты на строительство теплотрассы и расходы на ее эксплуатацию.

Максимальное изменение энталпии теплоносителя возможно в том случае, когда в процессе подвода и отвода теплоты будет изменяться его агрегатное состояние, а теплота фазового перехода будет наибольшей. Если агрегатное состояние не изменяется, теплоноситель должен иметь максимальную удельную (на единицу массы) теплоемкость. Теплоноситель должен также иметь минимальную вязкость. Выполнение этого требования совместно с выполнением требования максимальной плотности позволяет добиться минимальных гидравлических потерь при движении теплоносителя и, следовательно, снизить затраты энергии на его транспортировку.

В процессе подвода и отвода теплоты должны быть обеспечены **максимальные значения коэффициента теплоотдачи**. Выполнение этого требования позволяет уменьшить площадь поверхности теплообменных аппаратов, а в конечном счете снизить их стоимость и эксплуатационные расходы. Теплоно-

ситель должен позволять производить ***доставку теплоты на необходимом температурном уровне***. Соблюдение этого требования необходимо для достижения рабочей температуры в потребителе теплоты. Теплоноситель **должен позволять регулировать уровень температуры**. Выполнение этого условия дает возможность регулировать температурный режим потребителя теплоты. Рабочее **давление теплоносителя по возможности должно быть близко к атмосферному**. Это позволяет уменьшить толщину стенок трубопроводов, теплообменных аппаратов, упростить конструкцию уплотнительных устройств. Теплоноситель должен быть **термостойким**, т. е. не разлагаться при рабочих температурах. В противном случае продукты разложения будут загрязнять поверхности теплообмена и трубопроводов. Теплоноситель должен иметь **низкую химическую активность**. Выполнение этого условия позволяет при изготовлении трубопроводов, теплообменников и других элементов использовать дешевые конструкционные материалы. Теплоноситель должен быть **нетоксичен** или по крайней мере, иметь минимальную токсичность. Единственными нетоксичными теплоносителями являются вода, водяной пар и воздух. Все остальные теплоносители в большей или меньшей степени токсичны. Применение нетоксичных теплоносителей позволяет меньше опасаться их утечки, что значительно удешевляет уплотнительные устройства, существенно облегчает выполнение ремонтных работ. Теплоноситель должен быть **сравнительно дешевым и доступным**. Выполнение этого требования дает возможность снизить капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

***Ни одно из известных веществ не может в полной мере удовлетворить всем перечисленным требованиям.*** Какие бы два вещества ни сравнивались при оценке их в качестве теплоносителей, у каждого из них будут свои преимущества и недостатки. Поэтому при выборе теплоносителя надо исходить из того, что он должен, во-первых, отвечать самым необходимым требованиям и, во-вторых, совокупности всех требований, предъявляемых: к теплоносителям в целом.

К основным теплоносителям относятся следующие вещества.

**Вода** широко используется в качестве теплоносителя, особенно для отопления. К преимуществам воды как теплоносителя следует отнести ее высокую плотность, удельную теплоемкость, сравнительно низкую вязкость, высокие значения коэффициента теплоотдачи, низкую химическую активность, нетоксичность, дешевизну и доступность, возможность регулирования уровня температуры. Недостатком воды является ограниченный верхний уровень температуры (при обычно используемых на производстве давлениях до 150°C). Подогрев воды осуществляется в специальных водогрейных котлах, в нагревательных установках, ТЭЦ и котельных. Горячую воду, как правило, транспортируют по трубопроводам на расстояния до 20 км. При этом снижение температуры воды в хорошо теплоизолированном трубопроводе не превышает 1°C на 1 км.

**Водяной пар** – самый распространенный теплоноситель для производственных целей. Его преимуществами являются высокая теплота парообразования, высокие значения коэффициента теплоотдачи при кипении воды и при

конденсации пара, возможность поддержания постоянного режима теплоиспользующего оборудования благодаря постоянству температуры при конденсации, нетоксичность, доступность. Водяной пар имеет сравнительно невысокую вязкость и приемлемую плотность. Основным его недостатком является ограниченный верхний предел температуры. Для повышения температуры насыщенного пара необходимо значительно повышать давление. Например, абсолютному давлению 0,2 МПа соответствует температура насыщенного пара 120°С, давлению 0,5 МПа — температура 152°С, давлению 1 МПа — температура 180° С. Подача перегретого пара в рекуперативные теплообменники нецелесообразна, так как теплота перегрева мала по сравнению с теплотой парообразования. В текстильной промышленности для теплоснабжения оборудования обычно используют пар давлением 0,3–0,4 МПа и только в редких случаях, когда необходимо получить повышенную температуру, до 0,8 МПа. Так как давление пара, полученного в парогенераторах, обычно выше, пар дросселируют до необходимого давления и лишь после этого направляют в паропровод. Транспортировку пара осуществляют, как правило, на расстояния до 5 км.

**Топочные газы** используют в качестве греющего теплоносителя в большинстве случаев на месте их получения для непосредственного нагревания материалов и изделий, качество которых не зависит от загрязнения продуктами сгорания. Преимуществом топочных газов является возможность их получения непосредственно у аппаратов, теплоснабжение которых они обеспечивают. При этом отпадает необходимость в теплотрассе, промежуточных теплообменниках, уменьшается металлоемкость теплоиспользующего оборудования. Применение топочных газов позволяет достичь любого практически необходимого уровня температуры и тем самым повысить производительность теплотехнологических установок. К недостаткам топочных газов следует отнести их низкую плотность и теплоемкость, низкие значения коэффициента теплоотдачи, способность загрязнять поверхность теплообмена, пожароопасность, токсичность.

**Горячий воздух** в технологии текстильного производства используют для сушки материалов, где он служит для доставки теплоты к материалу и уноса испарившейся влаги. К преимуществам горячего воздуха относятся его нетоксичность и доступность. В связи с этим он, как правило, в конце цикла выбрасывается непосредственно в атмосферу. Недостатками воздуха как теплоносителя являются низкие плотность и удельная теплоемкость, низкие значения коэффициента теплоотдачи. Перечисленные недостатки затрудняют процесс теплообмена, а также ограничивают расстояние возможной транспортировки воздуха.

**Высокотемпературные теплоносители** используют тогда, когда температурный уровень подвода теплоты в теплоиспользующей установке не может быть обеспечен перечисленными выше теплоносителями. Повышение температуры применяют в тех случаях, когда необходимо увеличить скорость протекания физико-химических процессов в технологических аппаратах. Ряд процессов без использования повышенных температур просто невозможно осуществить.

Примером такого процесса может служить выпаривание высококипящих растворов. В табл. 5.1 приведены некоторые характеристики наиболее часто используемых высокотемпературных теплоносителей.

Табл. 5.1

Характеристики некоторых высокотемпературных теплоносителей

Теплоноситель	Химическая формула	Температура, °С	
		отвердения	кипения при атмосферном давлении
Минеральные масла	–	0–15	215
Нафталин	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	80,2	218
Дифенил	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	69,5	255
Дифениловый эфир	(C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )O <sub>2</sub>	27	259
Дефениловая смесь (BOT)	26,5% дифенила и 73,3% дифенилово-го эфира	12,3	258
Глицерин	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub>	– 17,9	290
Кремнийорганические соединения (тетракрезил-оксисилен и др.)	(CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>4</sub>	– (30...40)	440
Нитритнитратная смесь	7% NaNO <sub>3</sub> 40% NaNO <sub>2</sub> 53% KNO <sub>3</sub>	143	Выше 550
Натрий	Na	97,8	883

Все высокотемпературные теплоносители в большей или меньшей степени токсичны. Некоторые из них, например глицерин, не являются токсичными при комнатных температурах, но при повышенной температуре разлагаются на токсичные соединения. Использование высокотемпературных теплоносителей предъявляет повышенные требования к герметичности теплообменной аппаратуры, трубопроводов, арматуры, надежности уплотнительных устройств.

При конструировании и расчете теплообменного аппарата возникает необходимость выбора скорости движения теплоносителей в элементах конструкции. Повышение скорости теплоносителя приводит к повышению энергозатрат на транспортировку теплоносителей и энергоносителей.

### Контрольные вопросы

1. С помощью чего осуществляется транспорт теплоты?
2. Какие материалы используются для тепловой изоляции трубопроводов?
3. Перечислите известные Вам способы прокладки трубопроводов?
4. Дайте определение понятию «ПИ-труба».

5. Какие мероприятия применяют для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду при транспортировке теплоносителя?
6. Дайте определение понятию «теплоноситель».
7. Какими требованиями должен обладать идеальный теплоноситель и чем они обусловлены?
8. Охарактеризуйте воду и водяной пар как теплоносители.
9. Дайте характеристику горячему воздуху и топочным газам как теплоносителям.
10. Для чего используются высокотемпературные теплоносители?

## 6. ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

### 6.1. Основные понятия и определения

Под *вторичными энергетическими ресурсами* понимают энергетический потенциал всех материальных потоков (отходов энергетических продуктов), образующихся на выходе из технологических агрегатов, и которые частично или полностью могут быть использованы для энергосбережения других агрегатов или в самом агрегате.

Энергетические отходы, которые возвращаются обратно на вход в технологический агрегат, называются *ВЭР внутреннего использования*, а ВЭР, утилизируемые в других установках – *внешнего использования*.

Все ВЭР подразделяют на три основные группы.

*Горючие (топливные) ВЭР* – химическая энергия отходов от огнетехнического оборудования. Это горючие газы плавильных печей, вагранок и т.д., горючие отходы процессов химической и нефтехимической промышленности, горючие отходы черной и цветной металлургии, газовой промышленности. К горючим ВЭР относятся также отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности.

*Тепловые ВЭР* – физическая теплота отходящих дымовых газов и тепловых отходов от теплотехнологических аппаратов в виде теплоты горячей воды, пара, паровоздушной смеси, тепла конденсата пара и т.д.

*ВЭР избыточного давления* – энергия газов, жидкостей, пара, покидающих агрегаты с избыточным давлением ( $P > P_{am}$ ), которое необходимо снижать при выбросе в атмосферу. Все виды ВЭР в зависимости от их свойств могут использоваться потребителем как в виде топлива или для выработки теплоты, холода, электроэнергии и механической работы посредством специализированных утилизационных установок.

Для характеристики ВЭР используются следующие понятия:

*Общие энергетические отходы* – это энергетический потенциал всех материальных потоков на выходе из технологического агрегата и все потери энергии в агрегате.

Технологический агрегат, являющийся источником отходов энергии, кото-

рую можно полезно использовать, называется установкой – *источником ВЭР*.

Использование (утилизация) энергетических отходов осуществляется в *утилизационной установке*, которыми являются различные *теплообменные аппараты*.

*Полный выход ВЭР* – масса вторичных энергоресурсов, образующихся в теплотехнологическом аппарате за определенный интервал времени.

*Возможный выход ВЭР* или возможная выработка энергии (теплоты) – это максимально возможное количество энергии, которое может быть получено в утилизационной установке, с учетом режима работы источника ВЭР и утилизационной установки.

*Фактическое использование (фактический выход) ВЭР* – это фактически использованное потребителем количество энергии за счет утилизации ВЭР за отчетный период.

*Резерв утилизации ВЭР* – количество энергии, которое может быть дополнительно вовлечено в производство (часть используемых ВЭР).

*Коэффициент утилизации ВЭР* – отношение фактической экономии энергии (топлива, тепла) за счет ВЭР к возможной.

*Возможная экономия топлива за счет ВЭР* – возможное количество топлива, которое было бы сэкономлено при полном использовании всего выхода ВЭР.

При анализе видов ВЭР и возможностей их эффективного использования необходимо обращать внимание не только на объем выхода ВЭР, но и на показатели качества: к показателям качества вида ВЭР относят совокупность его свойства, определяющих экономическую целесообразность использования данного вида ВЭР. К показателем качества ВЭР относятся *уровень температуры, достигаемый коэффициент теплоотдачи, плотность, вязкость, химическая активность наличие примесей, рабочее давление*.

## **6.2. Утилизация низкотемпературных и высокотемпературных ВЭР в промышленности**

### **6.2.1. Теплообменные аппараты для утилизации вторичных энергоресурсов**

Наибольшее распространение при утилизации ВЭР получили *рекуперативные теплообменники* с поверхностью теплообмена, выполненной из труб. В таких теплообменниках возможны значительные перепады давления между теплоносителями без деформаций и разрушений поверхностей теплообмена. Рекуперативные кожухотрубные теплообменные аппараты могут работать с любой комбинацией теплоносителей: жидкость – жидкость, газ – жидкость, газ – газ. Общим для всех кожухотрубных теплообменников является наличие большого числа труб (трубного пучка), концы которых герметично укреплены в отверстиях досок, и наличие общего кожуха (корпуса), охватывающего трубный пучок.

В промышленных *коаксиальных теплообменниках* используются тру-

бы с внутренним не менее 12 и не более 38 мм. Ограничения связаны с возможностью очистки внутренней поверхности труб и снижением удельной поверхности теплообмена.

Возможная длина трубного пучка может составлять 0,9÷6 м, толщина стенок труб 0,5–2,5 мм.

В связи с тем, что температуры греющего и нагреваемого теплоносителей различны, различными являются температура корпуса и трубок в трубном пучке и по этой причине возникают различные температурные удлинения. Для снижения возникающих в трубных досках напряжений в теплообменниках применяют различные методы компенсации температурных деформаций: линзовидные компенсаторы, сальниковые уплотнители, плавающие камеры, U-образные трубы и др. По технологическим причинам трубы в трубном пучке кожухотрубного теплообменника не могут быть расположены близко одна от другой, поэтому площадь проходного сечения межтрубного пространства в 2,5–3 раза больше, чем трубного. Соответственно в межтрубном пространстве более низкие скорости движения теплоносителя и интенсивность теплообмена. С целью повышения интенсивности теплообмена скорости теплоносителей увеличиваются путем установки поперечных перегородок в межтрубном пространстве и организацией многоходового движения теплоносителя в полости труб.

Теплоносители, способные загрязнять поверхности теплообмена, направляют в полости труб трубного пучка, так как в межтрубном пространстве механическая очистка невозможна.

**Секционные теплообменники** состоят из последовательно соединенных секций, каждая из которых является кожухотрубным теплообменником с небольшим количеством труб в пучке и представляют собой многоходовой аппарат с наиболее выгодной схемой движения теплоносителей – противоточной. Секционные теплообменники эффективны, когда теплоносители движутся с соизмеримыми скоростями и без изменения агрегатного состояния теплоносителя.

В связи с отсутствием перегородок характерно низкое гидравлическое сопротивление и меньшая степень загрязнения межтрубного пространства. Поверхности теплообмена одной секции составляет 0,75–30 м<sup>2</sup>, а число труб от 4 до 140.

Основой теплообменников типа *труба в трубе* являются две соосно расположенные трубы, в кольцевом зазоре которых движутся теплоносители. Как правило, теплообменники этого типа состоят из ряда последовательно соединенных коленами («калачами») секций. Необходимые скорости движения теплоносителей обеспечиваются выбором соответствующих диаметров внутренней и наружной труб. Преимуществом таких теплообменников является простота изготовления, возможность работы при высоких перепадах давлений теплоносителей, высокие коэффициенты теплоотдачи. Недостатки – высокая металлоемкость, низкая компактность, сложность механической очистки кольцевого зазора между трубами.

**Погруженные змеевиковые теплообменники** состоят из плоских или витых

змеевиков, погруженных в емкость с нагреваемой жидкостью. Такие теплообменники широко применяются в различных отраслях промышленности, в том числе в схемах утилизации ВЭР. Нагрев может осуществляться за счет конденсации пара в трубах, или горячей водой. Основное преимущество таких теплообменников – простота конструкции, недостатки – низкая интенсивность теплообмена, для повышения которой прибегают к установке различных мешалок в емкости с нагреваемой жидкостью.

Широкое применение получили теплообменники из *оребренных труб* для увеличения поверхности теплообмена со стороны малых значений коэффициента теплоотдачи. Такие теплообменники (калориферы) используются в сушильных установках для нагревания воздуха и при утилизации ВЭР от паро-воздушной смеси. Важным условием работы таких теплообменником является рациональное расположение ребер, а также их плотный контакт с трубой. Конструкции ребер труб разнообразны и связаны с технологией их изготовления. Коэффициенты оребрения ( $F_2/F_1 = \psi$ ) для калориферов, применяемых в системах нагрева воздуха  $\psi \approx 3-4$ , а для теплообменных аппаратов холодильной техники  $\psi \approx 8-12$ . Ребра, как правило, выполняются из материалов с большей теплопроводностью, чем материал основной трубы.

Другой разновидностью рекуперативных аппаратов являются *теплообменники рубашечного типа, спиральные и пластинчатые*. Рубашечные теплообменники обычно используются для нагревания или охлаждения жидкости в

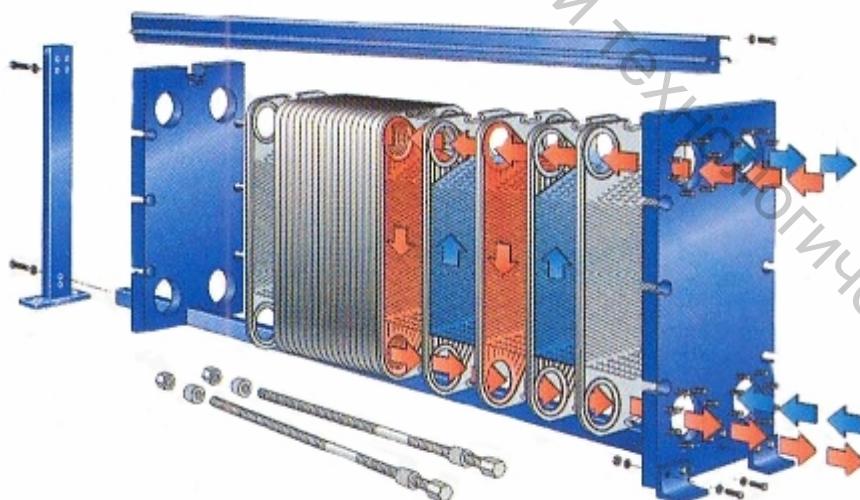


Рис. 6.1. Схема пластинчатого теплообменника

ная площадь поверхности теплообмена, низкие значения коэффициента теплообмена.

В пластинчатых теплообменниках (рис. 6.1) поверхность теплообмена образуется пакетом пластин, каждая из которых по периметру снабжена уплотнителями. Теплоносители движутся в зазорах, образованных соседними пластинами. С целью интенсификации теплообмена и увеличения площади поверхности пластины выполняются гофрированными. Комбинация теплоносителей может быть разнообразной: жидкость-жидкость, газ-жидкость, газ-газ. Недостатком является недостаточная герметичность и ограниченный перепад давлений

емкости. Теплоноситель подается в зазор, образованный двумя листами, один из которых омыается нагреваемой или охлаждаемой жидкостью. Преимущество: не загромождается объем бака, облегчена очистка поверхности теплообмена, простота конструкции аппарата. Недостаток: ма-

между теплоносителями.

Наиболее эффективными утилизационными установками для использования ВЭР высокотемпературных дымовых газов с  $t > 600^{\circ}\text{C}$  являются котлы-utiлизаторы, а также водяные экономайзеры для нагрева питательной воды котлов и воздухоподогреватели для нагрева дутьевого воздуха, использующие дымовые газы среднего потенциала с температурой 500 – 600°C. Котлы-utiлизаторы обеспечивают большую экономию топлива за счет генерирования энергетического или технологического пара, а также нагрева сетевой воды для теплоснабжения и горячего водоснабжения.

В тех случаях, когда допустимо смешение нагреваемой среды с паровым конденсатом, широко используется нагревание острый паром, который вводится в нагреваемую жидкость через перфорированную трубу или сопловой смешивающий диффузор (барботаж). Преимуществом таких смесительных аппаратов является простота конструкции и высокая интенсивность теплообмена. Главным недостатком смесительных теплообменников является контакт теплоносителей. Может применяться комбинация газ-жидкость, когда газ барботируется через жидкость. Такая комбинация позволяет более эффективно утилизировать тепловые ВЭР, применяя схемы с промежуточным теплоносителем. При утилизации тепловых ВЭР с точки зрения увеличения коэффициента утилизации ВЭР и компактности теплообменников и их стоимости вариант нагрева воды предпочтительней, чем нагрев воздуха. При равных условиях при нагреве воды теплообменник будет примерно в 2–2,5 раза меньше по поверхности теплообмена.

Некоторые типы кожухотрубных рекуперативных аппаратов изображены на рис. 6.2, 6.3.

Для проведения технологических процессов, связанных с подводом тепла, используются разнообразные теплотехнологические установки, в которых применяются один или несколько теплоносителей.

### **6.2.2. Теплообменные аппараты для утилизации высокотемпературных ВЭР**

К высокотемпературным ВЭР в промышленности относят дымовые газы с температурой выше 600 °C, которые покидают рабочее пространство огнетехнических агрегатов и поэтому уносят с собой значительное количество тепла. Основными источниками данных ВЭР являются черная и цветная металлургия, химическая и нефтехимическая промышленность, промышленность строительных материалов, стекловаренная промышленность и т.д.

Потери тепла с уходящими газами таких агрегатов могут составлять 20 – 80%. Утилизация теплоты уходящих газов принципиально может выполняться двумя способами: с возвратом отобранного тепла у газов на вход в данный агрегат (ВЭР внутреннего использования) и без возврата (ВЭР внешнего использования). Для утилизации этих ВЭР широко используются разнообразные теплообменники рекуперативного и регенеративного типа, использование которых позволяет повысить КПД агрегатов на 15 – 20%, увеличить температуру горе-

ния и сэкономить топливо.

Теплота ВЭР дымовых газов с возвратом на вход в агрегат оказывается значительно ценнее тепла, полученного в результате сгорания топлива, так как вносимое тепло не влечет потерю тепла с дымовыми газами и повышает температуру сгорания топлива.

Практически утилизировать все тепло отходящих газов невозможно, из-за значительного нецелесообразного увеличения поверхности нагрева теплообменников. Утилизация тепла отходящих газов осуществляется в теплообменниках регенеративного и рекуперативного типов. Регенеративные работают при нестационарном тепловом режиме, рекуперативные при стационарном.

Теплообменники регенеративного типа имеют следующие недостатки: не обеспечивают постоянную температуру подогреваемого теплоносителя (воздуха); на время переключения клапанов прекращается питание агрегата теплом; потери тепла через дымовую трубу; смешение теплоносителей из-за неплотностей; большие размеры и масса регенераторов. Однако, несмотря на недостатки, регенеративные теплообменники широко используются на высокотемпературных агрегатах, так как они могут работать при высокой температуре дымовых газов (1300 – 1500°C). При такой высокой температуре рекуператоры не могут работать устойчиво.

Рекуперативный принцип утилизации тепла отходящих газов обеспечивает постоянную температуру подогрева нагреваемого теплоносителя, не требуются переключающие клапаны, отсутствует унос тепла в дымовую трубу, меньшая металлоемкость и размеры по сравнению с регенераторами. Основным недостатком рекуператоров является низкая огнестойкость металлических теплообменников и низкая газоплотность керамических рекуператоров, а также утечки через неплотности между двумя сторонами теплоносителей из-за перепада давлений.

К рекуператорам предъявляют следующие требования: обеспечение максимальной степени утилизации тепла дымовых газов с высокой температурой; максимальная компактность конструкции; максимальная интенсивность теплопередачи; наименьшее гидравлическое сопротивление; достаточная герметичность.

Рекуператоры изготавливаются из металла и керамических материалов. Керамические рекуператоры более громоздки, занимают много места, однако могут устойчиво работать при высоких температурах 1200 – 1350 °C и обеспечивают подогрев теплоносителя до 800 °C.

Целью расчета рекуператоров является определение размеров теплообменника для обеспечения подогрева необходимого количества нагреваемого теплоносителя (воздуха) до необходимой температуры.

Для утилизации теплоты дымовых газов с температурой 800 – 900 °C часто используются игольчатые рекуператоры, которые собирают из отдельных труб, на которых имеются иглы. Иглы могут быть как на внутренней, так и на наружной стороне трубы.

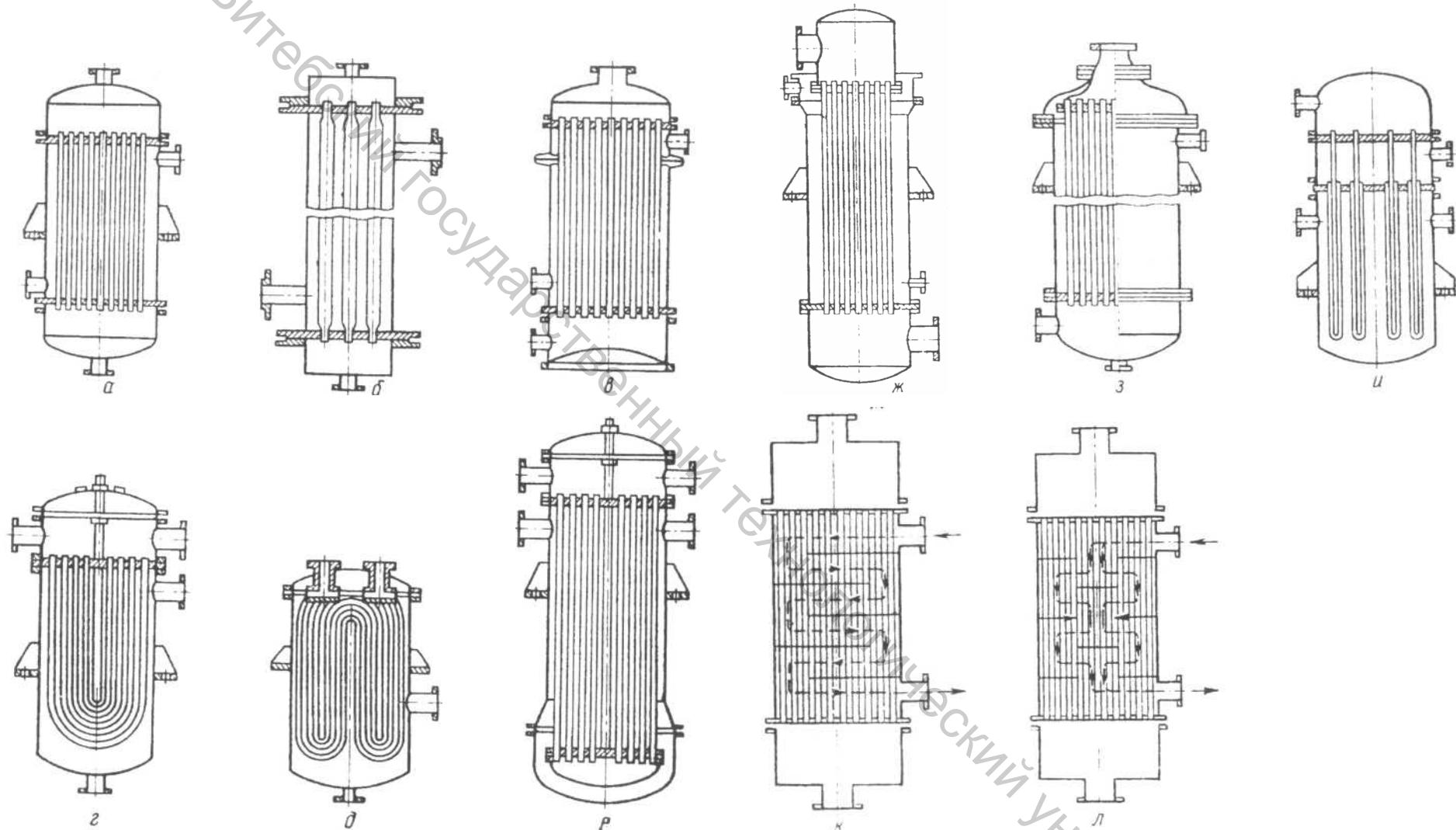


Рис. 6.2. Кожухотрубные рекуперативные теплообменники:

а, б - с жестким креплением труб; в - с линзовым компенсатором; г, д - с U и W-образными трубами; е - с нижней плавающей камерой; ж - с верхней плавающей камерой; з - с сальниковым уплотнителем; и - с трубами Фильда; к, л - с сегментными поперечными перегородками

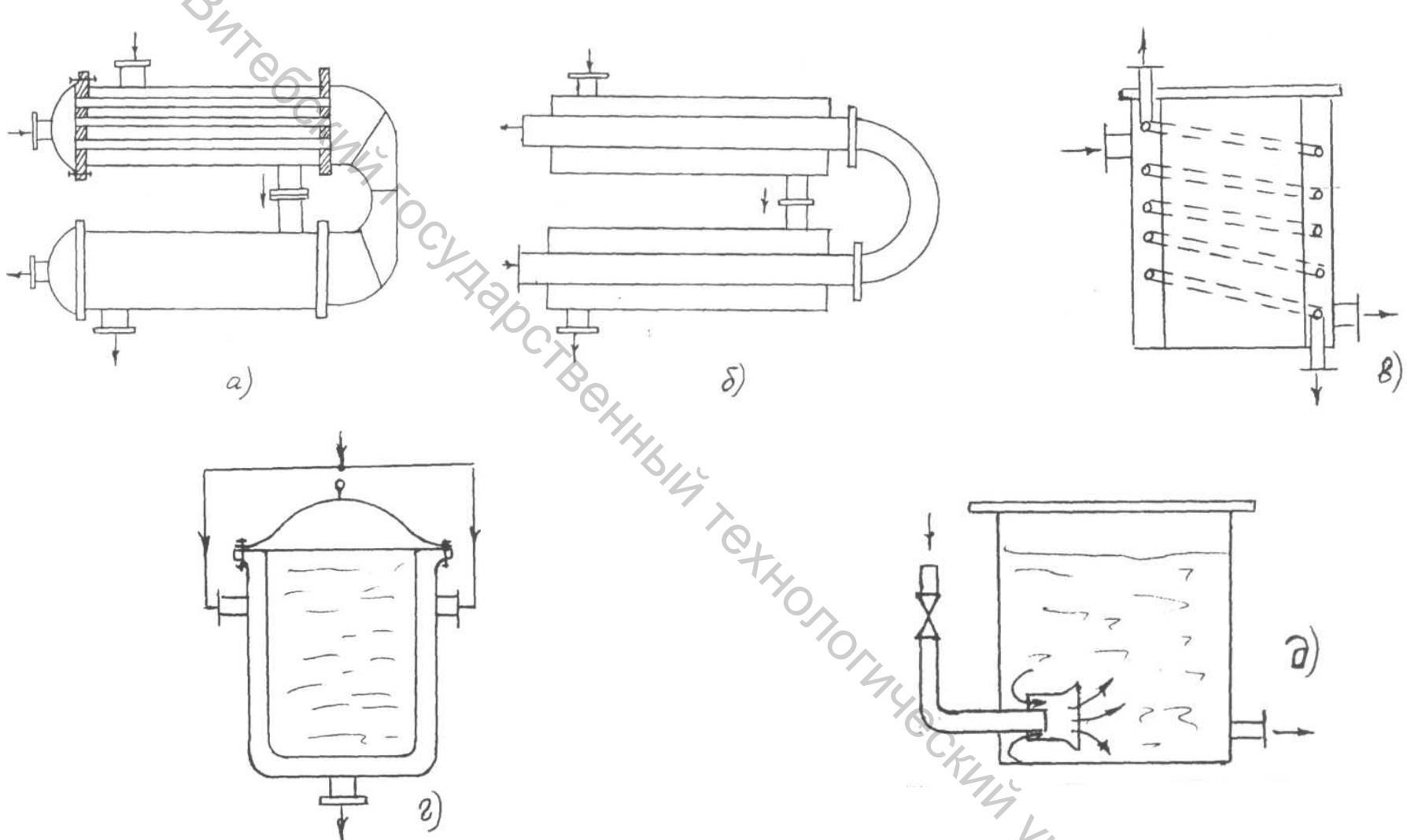


Рис. 6.3. Некоторые типы теплообменников:

а - секционный теплообменник; б - теплообменник типа трубы в трубе; в - погружной теплообменник;  
 г - рубашечный теплообменник; д - смесительный теплообменник с сопловым смесивающим диффузором

Иглы увеличивают действительную поверхность нагрева, турбулизируют поток газов, что приводит к существенному увеличению интенсивности тепло-передачи и уменьшает габариты теплообменника. Игольчатый рекуператор собирают из отдельных труб с фланцами, соединяемых при помощи болтов. Число ходов рекуператора зависит от температуры подогрева нагреваемого теплоносителя (воздуха). Чаще всего применяются двухходовые рекуператоры с подогревом воздуха до  $300 - 400^{\circ}\text{C}$  при температурах дымовых газов  $800 - 900^{\circ}\text{C}$ .

Скорости движения дымовых газов и воздуха принимаются: для металлических рекуператоров скорость движения газов  $3 - 5 \text{ м/с}$ , скорость воздуха  $7 - 10 \text{ м/с}$ , для керамических рекуператоров из-за низкой газоплотности скорость газов  $0,8 - 1 \text{ м/с}$ , скорость воздуха  $0,8 - 2 \text{ м/с}$  для игольчатых рекуператоров скорость дымовых газов  $5 - 14 \text{ м/с}$ , скорость воздуха  $6 - 10 \text{ м/с}$ , что диктуется гидравлическими сопротивлениями по газовой и воздушной стороне теплообменников.

Регенеративные теплообменники применяются в нагревательных печах. Они представляют собой цилиндрические камеры, заполненные кирпичной многорядной насадкой, выложенные из оgneупорного кирпича. Сначала через регенератор пропускают дымовые газы, а затем в обратном направлении нагретая добела насадка отдает аккумулированное тепло теплоносителю. Переключение осуществляется при помощи клапанов.

Особые требования предъявляют к насадкам регенератора. Они должны обеспечивать эксплуатационные качества, экономичность, минимальное гидравлическое сопротивление, высокую интенсивность теплообмена, строительную устойчивость.

Материал насадки должен обладать оgneупорностью, термостойкостью, сопротивлением к деформациям под нагрузкой при повышенных температурах.

При внешнем использовании высокотемпературных ВЭР дымовых газов применяются котлы-utiлизаторы (КУ), предназначенные для получения водяного пара с давлением от 14 до 45 бар и даже 100 бар с температурой пара  $300 - 450^{\circ}\text{C}$  и даже  $550^{\circ}\text{C}$ .

Исходя из этого котлы-utiлизаторы классифицируют по следующим признакам:

1. По температуре отходящих газов на входе в КУ при  $750 - 900^{\circ}\text{C}$  низкотемпературные, при температуре  $1100 - 1200^{\circ}\text{C}$  высокотемпературные.

Граница температур в  $1000^{\circ}\text{C}$ , разделяющая эти две группы котлов, выбрана по условиям теплоотдачи от газов к стенке трубы. При температурах ниже  $900^{\circ}\text{C}$  преобладает конвективный теплообмен, при температурах выше  $1000^{\circ}\text{C}$  – терморадиационный теплообмен.

2. По способу циркуляции воды КУ делят на котлы с принудительной и с естественной циркуляцией.

3. По конструкции КУ делят на газотрубные, змеевиковые, конвективные и радиационно-конвективные.

По компоновке бывают П – образные, башенные и горизонтальные.

Газотрубные КУ используются в промышленности строительных материалов (стекловаренные печи, печи обжига керамики, мартеновские печи).

Конвективные КУ устанавливают в нефтеперерабатывающей промышленности, в черной металлургии.

Радиационно-конвективные КУ используют в цветной металлургии за отражательными печами, в химической промышленности.

Все котлы-утилизаторы в отличие от традиционных паровых котлов отличаются только тем, что в КУ отсутствует топочная камера, а все остальные испарительные поверхности нагрева (конвективные пучки труб, пароперегреватели, экономайзеры и т.д.) принципиально не отличаются от обычных котлоагрегатов.

В тех случаях, когда используются горючие ВЭР, в котлах-утилизаторах устанавливаются топочное устройство или камеры дожигания.

### **6.2.3. Теплообменные аппараты для утилизации низкопотенциальных ВЭР**

К низкопотенциальным источникам ВЭР относят различные виды тепловых ВЭР от теплотехнологических аппаратов с температурой менее 300 °С (охлаждающая вода от различных печей, влажный воздух от сушильных установок, водяной пар вторичного вскипания, теплота конденсата греющего пара, теплота «мятого» пара от силовых установок и т.д.).

Низкопотенциальные тепловые ВЭР могут быть использованы в самых разнообразных технологических процессах, а также для теплоснабжения, системах вентиляции, горячего водоснабжения.

Утилизация теплоты низкопотенциальных ВЭР возможна двумя путями: первый предусматривает трансформацию тепла от более высокого уровня теплоносителя ВЭР к более низкому температурному уровню потребителя; второй – трансформация тепла от источника ВЭР с более низкой температурой к более высокому уровню температуры у потребителя.

Первый путь реализуется при помощи теплообменников рекуперативного, регенеративного или смесительного типа, второй основывается на использовании тепловых насосов.

При утилизации низкопотенциальных ВЭР вследствие низких температурных напоров нецелесообразно применять двухступенчатые схемы с промежуточным теплоносителем, так как это приводит к резкому увеличению поверхностей нагрева теплообменников, из-за большого снижения температурного напора в обоих ступенях схемы.

При реализации первого пути использования ВЭР оказываются экономичными теплообменники контактного типа, в которых обеспечивается использование всей теплоты ВЭР, в том числе и теплоты парообразования, если теплоносителем является газ. Особенно экономичны и удобны такие теплообменники для установок при тепловлажностной обработке приточного воздуха в системах вентиляции.

Конструкции контактных теплообменников очень разнообразны и выбираются в зависимости от производительности и назначения.

Например, воздухоподогреватель производительностью по воздуху менее  $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$  используют для местных отопительно-вентиляционных систем, а более  $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$  применяют для централизованных отопительно-вентиляционных установок.

В качестве насадочных материалов в контактных теплообменниках используются кольца Рашига (отопительно-вентиляционные агрегаты), роторные насадки в виде скрученной по спирали ленты из белой жести, волнисто-параллельная насадка в виде пакета асбосцементных листов толщиной 5,5 мм.

Контактные теплообменники для утилизации низкопотенциальных ВЭР многообразны по конструкции и по назначению. Поэтому необходимо привести перечень наиболее широко применяемых контактных теплоутилизаторов.

Отопительно-вентиляционные системы: роторный вентиляционный агрегат (APB) (рис. 6.4), отопительно-вентиляционный агрегат (OVA), отопительно-вентиляционный агрегат с волнисто-параллельной насадкой (KVP), отопительно-вентиляционный агрегат (OVA-15), контактно-поверхностный теплоутилизатор (TKPP – 10), блочный контактный экономайзер (ЭК-БМ) для нагрева воды уходящими газами, контактный теплоутилизатор с промежуточным теплообменником (конструкции НИИСТ) для утилизации теплоты отходящих газов и нагрева воды, контактный водонагреватель утилизационный газовый (ВУГ-1). Некоторые типы контактных теплоутилизаторов представлены на рисунках 6.4–6.7.

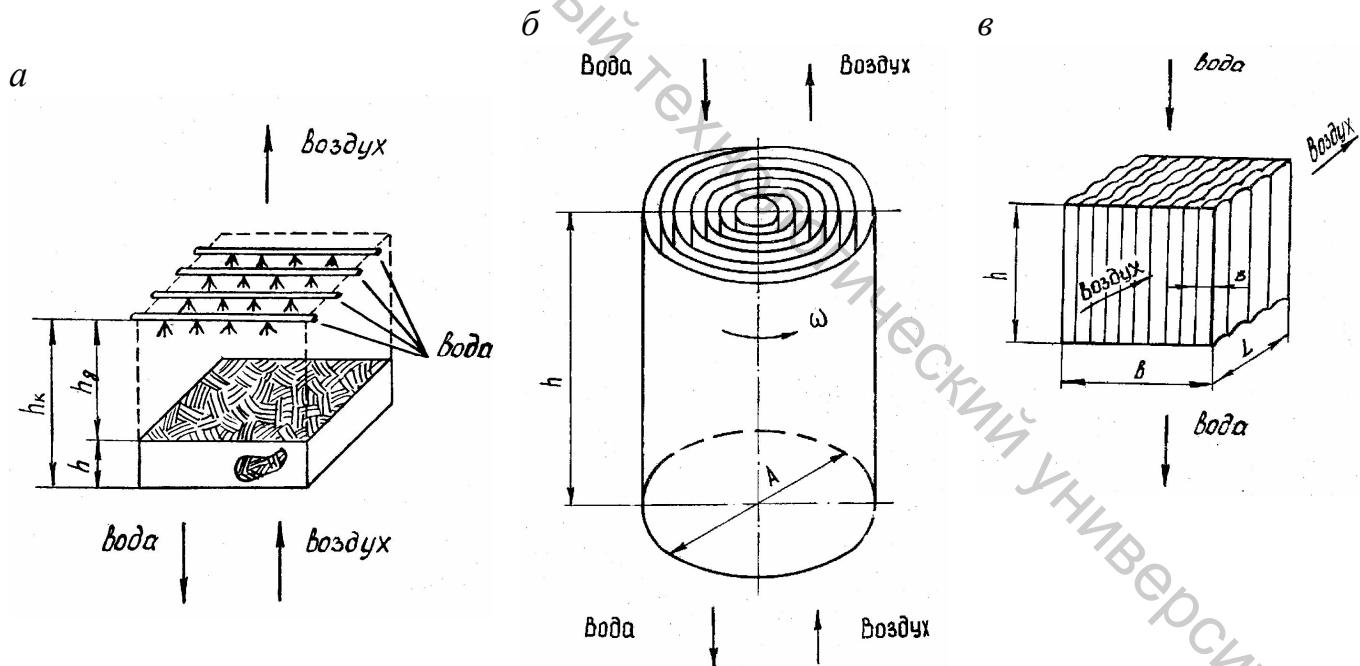


Рис. 6.4. Схемы отопительно-вентиляционных агрегатов  
 а- контактная камера отопительно-вентиляционного агрегата (OVA); б- роторный вентиляционный агрегат (APB); в- контактная камера с волнисто-параллельной насадкой (KVP).

В текстильной и легкой промышленности применяются регенеративные и смесительные аппараты. В качестве насадки в регенеративных аппаратах ис-

пользуют гофрированную металлическую ленту. Так как в них процесс передачи тепла от горячего теплоносителя к холодному происходит за два периода, то для обеспечения непрерывной подачи теплоносителей в случае неподвижной насадки совмещают два регенеративных аппарата, с двумя перекидными клапанами (рис. 6.8, 6.9).

Преимущества и недостатки регенеративных теплообменников подробно рассмотрены выше.

В смесительных теплообменных аппаратах теплообмен осуществляется путем непосредственного смешения теплоносителей. В связи с тем, что в этих аппаратах в теплообмене не участвуют твердые поверхности интенсивность теплообмена в них значительно выше, чем в поверхностных теплообменниках. По конструкции различают следующие виды смесительных аппаратов (рис. 6.9).

Безнасадочные камеры (колонны), в которых жидкость распыляется форсунками в газовую среду и контакт между жидкостью и газом происходит на поверхности капель жидкости.

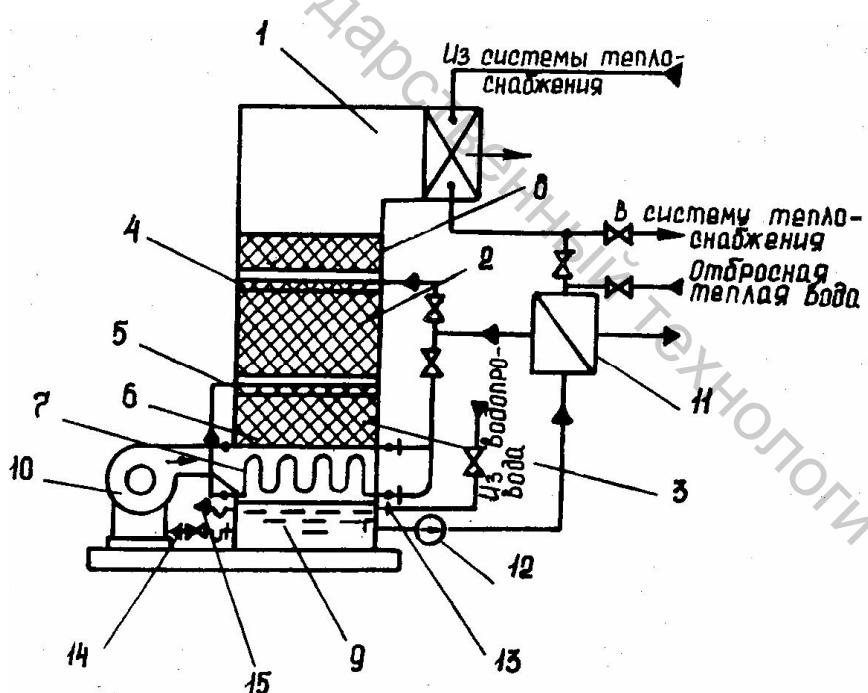


Рис. 6.5. Отопительно-вентиляционный агрегат ОВА-15:

1 – калорифер, 2 – ступень промежуточного нагрева, 3 – ступень предварительного нагрева, 4 – водораспределитель, 5 – дополнительный водораспределитель, 6 – опорная решетка, 7 – греющая рубашка, 8 – каплеуловитель, 9 – поддон, 10 – вентилятор, 11 – промежуточный теплообменник, 12 – насос, 13 – патрубок подвода воды, 14 – дренажный патрубок, 15 – переливной патрубок

Насадочные камеры (колонны) – соприкосновение газа с жидкостью происходит на поверхности пленки жидкости, стекающей по насадке (кольца Рашига, куски кокса, деревянные рейки).

Насадочные аппараты более компактны, чем безнасадочные, но имеют повышенное гидравлическое сопротивление.

Каскадные аппараты имеют внутри корпуса горизонтальные и наклонные полки, жидкость стекает с полки на полку сверху вниз, образуя пленку.

Струйные смесительные аппараты – вода нагревается эжектируемым паром.

## Пленочные смешивающие теплообменные аппараты – нагрев воды водяным паром.

Преимущества таких подогревателей по сравнению с поверхностными теплообменниками – простота конструкции, компактность, меньшая металлоемкость.

Пенные аппараты – применяются для улавливания из газов или запыленных потоков плохо смачиваемой пыли.

Применяется барботаж газа через слой жидкости.

Широко применяется нагрев жидкостей и растворов острый паром барботированием пара через перфорированную трубу (труба с отверстиями). Главным недостатком смесительных аппаратов является загрязнение нагреваемого теплоносителя, преимущество простота конструкции, компактность.

Наиболее целесообразно в системах утилизации низкопотенциальных тепловых ВЭР применять теплообменники на тепловых трубах, которые обладают рядом уникальных свойств. Возможности применения теплообменников на тепловых трубах определяются их технико-экономическими показателями.

Тепловая труба (ТТ) (рис. 6.10) – устройство обладающее очень высокой эффективностью передачи теплоты. Принцип работы – на внутренней стенке трубы укрепляется фитиль, выполненный из тонкой сетки.

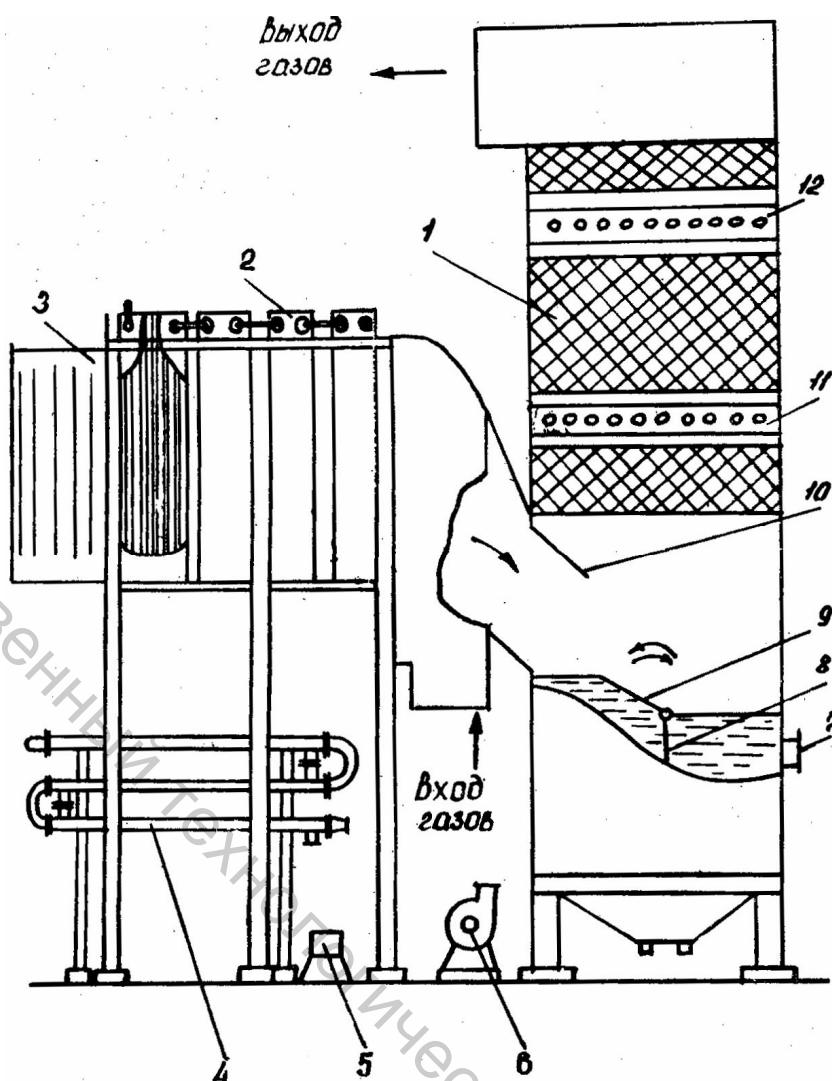


Рис. 6.6. Контактно-поверхностный теплоутилизатор ТКЛП-10:

1 – контактная часть, 2 – тепловой модуль, 3 – поворотная камера, 4 – промежуточный теплообменник, 5 – узел очистки, 6 – насос, 7 – патрубок, 8 – перегородка, 9 – заслонка поворотная, 10 – козырек (направляющий), 11 – водораспределитель дополнительный, 12 – водораспределитель основной)

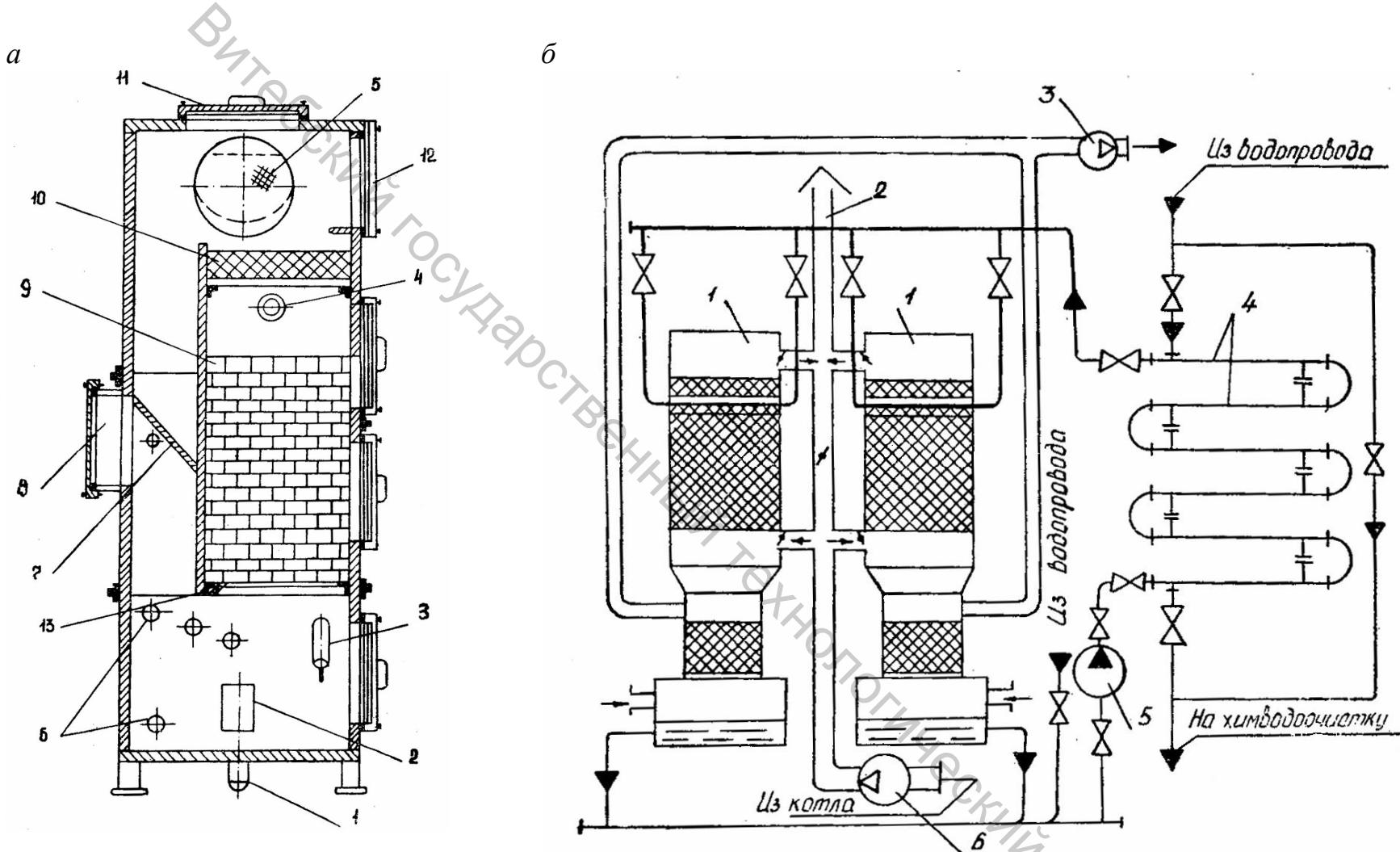


Рис. 6.7. Схема водонагревателя ВУГ-1 (а): 1- дренажный патрубок, 2- патрубок для отвода воды, 3- узел подпитки, 4- ороситель, 5- взрывной клапан, 6- штуцер водоуказательного прибора, 7- заслонка, 8- патрубок подвода газов, 9- рабочий насадной слой, 10- каплеулавливающий насадочный слой, 11- люк, 12- окно отвода газов, 13- опорная решетка; (б) контактный теплоутилизатор с промежуточным теплообменником: 1- контактные камеры, 2- дымовая труба, 3- вентилятор, 4- промежуточный теплообменник, 5- насос, 6- дымосос.

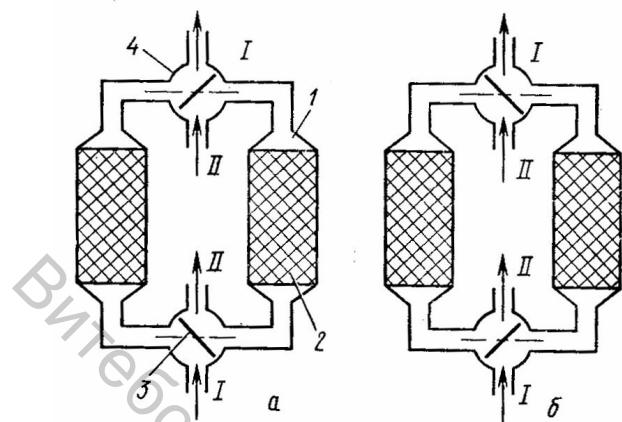


Рис. 6.8. Схемы регенеративных теплообменников: а- левый корпус – период нагрева, б- правый- период охлаждения.

1- корпуса, 2- насадки, 3- перекидные клапана, 4- клапанные коробки смещания).

Труба заполняется небольшим количеством теплоносителя (рабочая жидкость), откачивается воздух и плотно закрывается. Один конец трубы нагревается, что вызывает испарение жидкости и движение пара к холодному концу трубы. Здесь пар конденсируется и возвращается к горячему концу трубы под воздействием капиллярных сил. Чем больше теплота парообразования рабочего теплоносителя, тем больший тепловой поток может передавать тепловая труба даже при малой разности температур на концах трубы. В ТТ различают три участника: зону подвода тепла, или участок испарения, зону переноса тепла (адиабатный участок), зону отвода тепла (участок конденсации).

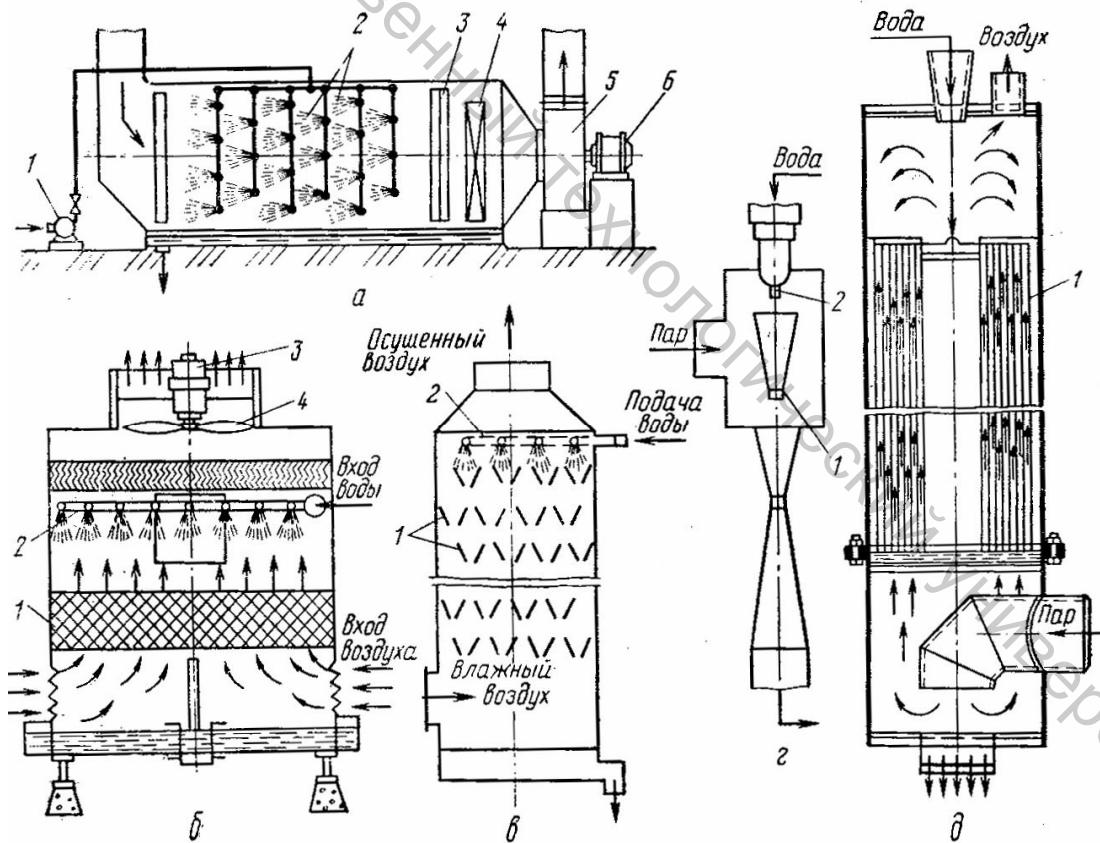


Рис. 6.9. Типы смесительных теплообменников:

а- безнасадочный с форсунками: 1- насос, 2- форсунки, 3- иллюминаторы-сепараторы влаги, 4- подогреватель, 5- центробежный вентилятор, 6- электродвигатель; б- насадочный: 1- насадка, 2- распределительная труба, 3- электродвигатель, 4- осевой вентилятор; в- каскадный: 1- каскады, 2- распределительная труба; г- струйный: 1,2- сопла первой и второй ступени струйного смесителя; д- пленочный: 1- коаксиальные трубы.

Теплопередающая способность ТТ может быть очень большой. Так, если в ТТ используется в качестве рабочего вещества литий при температуре 1500 °C в осевом направлении передается тепловой поток 10–20 кВт/см<sup>2</sup>.

В качестве теплоносителей используются ацетон, аммиак, фреоны, вода, цезий, калий, натрий, литий, свинец, различные неорганические соли.

Наибольшее применение теплообменники на тепловых трубах получили при утилизации низкопотенциальных ВЭР (температурах 50 – 200°C), так как при таких температурах не требуется применения дорогостоящих материалов и теплоносителей.

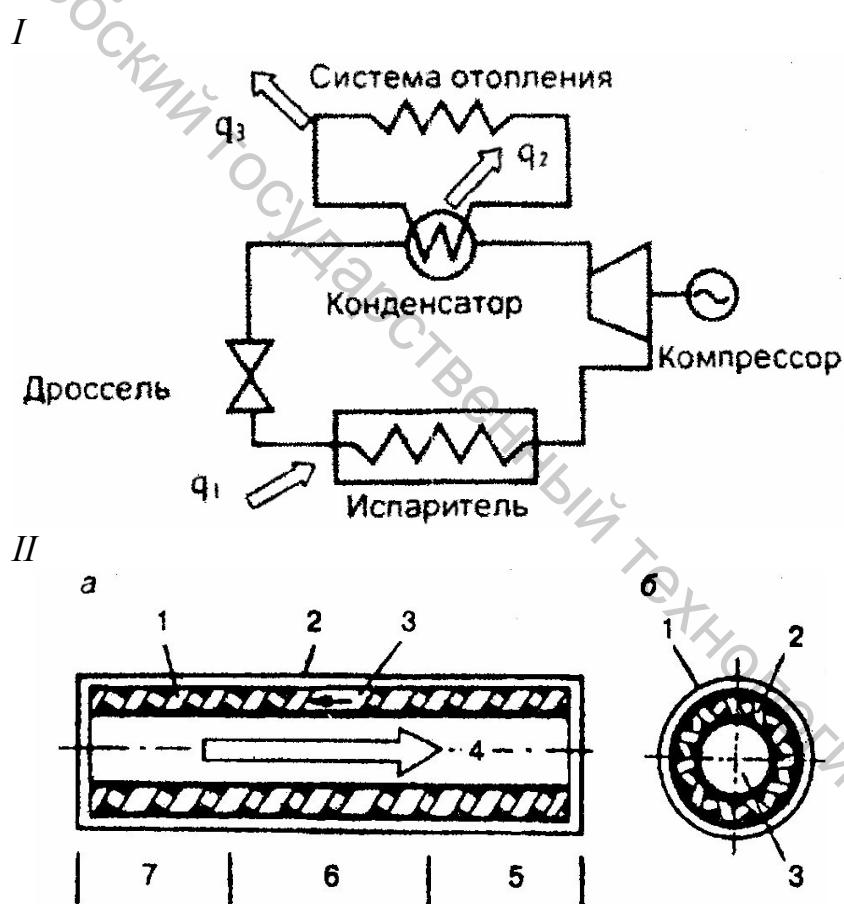


Рис. 6.10. I – тепловой насос для утилизации низкотемпературной теплоты промышленных сточных вод; II – схема тепловой трубы (а – продольный разрез: 1- фитиль, 2- стенка трубы, 3- возврат жидкости по фитилю, 4- пар, 5- участок конденсации, 6- адиабатный участок, 7- участок испарения; б – поперечное сечение)

жидкость; 3) жидкость-жидкость.

ТТ первого типа применяются в качестве воздухоподогревателей для промышленных агрегатов, в системах отопления и вентиляции, в утилизаторах животноводческих ферм.

ТТ второго типа используются в условиях, исключающих взаимодействие

Теплообменники на тепловых трубах (ТТ) являются разновидностью рекуперативных теплообменников с промежуточным теплоносителем. Для достижения высокой экономичности и невысокой стоимости ТТ необходимы дешевые конструкции тепловых труб, малые габариты и рабочие вещества с хорошими теплотехническими характеристиками. К таким ТТ относятся гладкостенные фитильные и центробежные, но могут применяться и другие виды тепловых труб.

Конструктивно ТТ выполняются из набора ТТ. В зависимости от агрегатного состояния теплоносителя ТТ разделяются на три типа: 1) газ-газ (воздух-воздух); 2) газ-

вие газа и жидкости. Эти ТТТ применяются как конденсаторы, нагреватели и охладители жидкостей.

ТТТ третьего типа используются в химической промышленности, в атомной энергетике, когда исключается взаимодействия между теплоотдающей и тепловоспринимающей жидкостями в широком диапазоне изменения давлений и температур. Использование ТТТ для утилизации ВЭР дает возможность не только повысить тепловую эффективность энергетических установок, но и уменьшить загрязнение окружающей среды. Фактором, препятствующим более широкому использованию ТТТ в промышленности является их стоимость. Их стоимость больше чем стоимость рекуперативных теплообменников.

В настоящее время вопросы использования низкотемпературных источников тепла для отопления, горячего водоснабжения нагрева воды для технологических нужд наиболее успешно решаются с помощью тепловых насосов (ТНУ).

Наибольшее распространение получили компрессионные теплонасосные установки (рис. 6.10).

Рабочими телами в ТНУ служат фреоны – вещества, имеющие низкую температуру кипения при давлениях близких к атмосферному.

Тепловой насос работает следующим образом. В теплообменнике-испарителе отбирается теплота низкого потенциала и передается так называемому рабочему телу. Образующиеся в испарителе пары фреонов сжимаются в компрессоре, одновременно повышается их давление и температура. Затем теплота сжатых паров в конденсаторе передается тепловому потребителю, а конденсат после дросселирования давления вновь поступает в испаритель. Таким образом, действие теплового насоса ничем ни отличается от работы обычного компрессионного холодильника.

Коэффициент преобразования тепла  $\phi = Q_1/N_e$  при температурах сточных вод или воздуха от вентиляционных систем 20 – 50 °С может быть 3 – 6, а тепловая мощность составлять 50 – 5000 кВт. При затрате электрической мощности  $N_e=1$  кВт потребителю подается через конденсатор тепловая мощность в 3 – 6 кВт. Минимальные значения коэффициента преобразования тепла, при котором достигается экономия энергии 2,3 при электроснабжении от КЭС и 2,8 – от ТЭЦ.

Тепловые насосы предназначены для утилизации низкотемпературных ВЭР с температурой 20 – 50 °С, с подачей горячей воды 60 – 100 °С.

Экономическая эффективность использования ТНУ зависит не только от технического совершенства насосов, но и от соотношения цен (тарифов) на электрическую и тепловую энергию. Существует критическое соотношение цен, при котором использование ТНУ становится невыгодным. Годовой фонд времени ТНУ должен быть более 3000 часов.

Схемы использования ТНУ для утилизации низкотемпературных ВЭР настолько разнообразны, что рассматривать их даже в ограниченном объеме невозможно.

В странах Западной Европы, Японии, США, Канады серийно выпускаются теплонасосные станции (ТНС) миллионами экземпляров различного назначения

и тепловой мощности, которые широко используются в качестве индивидуальных систем обогрева жилых домов, отдельно стоящих зданий.

### 6.3. Эффективность использования ВЭР и экономия топлива за счет их использования

Количественно общие энергетические отходы равны разности между энергией, поступающей в технологический аппарат, и полезно используемой энергией. Общие энергетические отходы делятся на три потока: неизбежные потери энергии в технологическом агрегате (потери в окружающую среду), энергетические отходы внутреннего использования, т.е. те отходы, которые возвращаются обратно в технологический агрегат за счет регенерации или рециркуляции, энергетические отходы внешнего использования.

Степень утилизации ВЭР зависит от величины, структуры и режима энергопотребления предприятия, а также от вида параметров и количества образующихся ВЭР. Для расчета выхода тепловых ВЭР необходимо знать характеристики оборудования – источников тепловых ВЭР, к которым относятся в текстильной промышленности разные виды теплоиспользующего оборудования. При анализе видов ВЭР, расчете возможного выхода ВЭР и путей применения их, особое внимание следует обращать не только на их выход, но и показатели качества ВЭР. Под показателями качества ВЭР понимают совокупность свойств, определяющих технико-экономическую целесообразность наиболее полного использования данного вида ВЭР. К основным показателям качества ВЭР относятся температурный уровень ВЭР, достижимый коэффициент теплоотдачи, плотность, вязкость, химическая активность, наличие примесей, загрязняющих поверхность теплообмена, рабочее давление и ряд других показателей. Необходимые данные для расчета выхода тепловых ВЭР в текстильной промышленности получают на основе технических паспортов оборудования, а также по результатам балансовых и наладочных испытаний установок – источников ВЭР.

Относительное максимально возможное количество тепловой энергии, передаваемое от одного агрегата к другому, определяется уравнением

$$q = \frac{t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}}{t_{\text{вх}} - t_0}, \quad (6.1)$$

где  $t_{\text{вх}}$ ,  $t_{\text{вых}}$  – температура ВЭР на входе и выходе утилизационной установки,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $t_0$  – температура окружающей среды.

Коэффициент утилизации тепловых ВЭР представляется выражением

$$h_{ym} = \left[ 1 - \frac{t_{\text{вых}} - t_0}{t_{\text{вх}} - t_0} \right]. \quad (6.2)$$

На основании формулы (6.1) можно записать выражение для определения теплоты, используемой в утилизационной установке

$$Q = Q_{вых} \left[ 1 - \frac{t_{вых} - t_0}{t_{вх} - t_0} \right], \quad (6.3)$$

где  $Q_{вых}$  – количество теплоты, которым обладают ВЭР на входе в утилизационный аппарат, (кДж/ч);  $Q$  – количество теплоты, которую можно утилизировать.

Коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы утилизационной установки и технологического оборудования можно определить по уравнению

$$b = t_{ym.ycm.} \cdot G_{ucn.}^{BEP} / (t_{ym.ycm.} \cdot G_{ucn.}^{BEP}), \quad (6.4)$$

где  $t_{ym.ycm.}$ ,  $t_{mex.ycm.}$  – продолжительность работы утилизационной установки и технологического оборудования, (ч),  $G_{ucn.}^{BEP}$  – количество ВЭР, используемых в утилизационной установке (кг/ч).

Коэффициент несоответствия режима работы утилизационного оборудования  $b$  выбирается по справочным данным в зависимости от типа и технологического цикла работы теплотехнологического оборудования.

При планировании использования тепловых ВЭР и определении возможного выхода ВЭР необходимо:

- изучить и проанализировать технологию производства и работу оборудования в технологическом цикле;
- выделить основные технологические процессы, связанные с выделением ВЭР;
- составить материальные и тепловые балансы агрегатов - источников ВЭР; определить направления использования ВЭР и выбрать тип утилизационного оборудования;
- рассчитать возможный выход ВЭР по каждому технологическому оборудованию, экономический эффект от утилизации ВЭР и срок окупаемости капиталовложений от энергосберегающих мероприятий.

Под выходом ВЭР понимают количество вторичных энергоресурсов, которые образуются в агрегате – источнике ВЭР.

Удельный выход ВЭР рассчитывается или в единицу времени (ч) работы агрегата или на единицу продукции. Удельный выход для горючих ВЭР определяется формулой

$$q_{yд}^e = G_{вых} \cdot Q_H^P, \text{ (Дж/ч).} \quad (6.5)$$

Для тепловых ВЭР

$$q_{y\partial}^T = G_{вых} \cdot C (t_1 - t_0), \text{ (кДж/ч).} \quad (6.6)$$

Для ВЭР избыточного давления

$$q_{y\partial}^P = G_{вых} \cdot l, \text{ (кДж/ч)} \quad (6.7)$$

Здесь –  $G_{вых}$  часовое количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов (кг/ч) или ( $\text{м}^3/\text{ч}$ );  $C$  – теплоемкость энергоносителя (кДж/кг град. или кДж/ $\text{м}^3$  гр);  $l$  – работа изоэнтропного расширения (кДж/кг);  $t_1$ ,  $t_0$  – температура энергоносителя на входе в теплообменник – утилизатор и температура окружающей среды.

Общий объем выхода ВЭР

$$Q_{вых} = q_T \cdot t \cdot M, \text{ (ГДж)}$$

где  $M$  – выход энергоносителя за рассматриваемый период (месяц, год), (ГДж);  $t$  – число часов работы установки – источника ВЭР;  $q_T$  – удельный выход ВЭР, (кДж/кг).

Обычно определяют годовой выход ВЭР. Однако только часть энергии из общего выхода может быть полезно использована.

Для оценки реального потенциала ВЭР, возможного к использованию, рассчитывается возможная выработка энергии за счет ВЭР. Различают возможную, планируемую экономически целесообразную и фактическую выработку ВЭР.

Возможная выработка ВЭР – это максимальное количество теплоты, электроэнергии или механической работы, которое можно получить практически за счет данного вида ВЭР с учетом режимов работы агрегата – источника ВЭР и утилизационной установки. Фактическая выработка – действительно полученная энергия за отчетный период. Коэффициент выработки теплоты или использования за счет ВЭР отношение фактической ВЭР к возможной выработке

$$S = \frac{Q_\phi}{Q_{воз}}.$$

Использование ВЭР ставит конечной задачей достижение экономии первичного топлива и сокращение затрат на приобретение топлива.

При использовании тепловых ВЭР экономия топлива определяется

$$DB = \frac{0,0342}{h_{зам}} \cdot Q_{воз} \cdot S = \frac{0,0342}{h_{зам}} \cdot Q_\phi; \text{ (т.у.т.)} \quad (6.8)$$

где 0,0342 – коэффициент эквивалентного перевода 1 ГДж в т.у.т.;  $Q_\phi$  – фактическое использование тепловых ВЭР (ГДж/год);  $h_{зам}$  – КПД замещаемой энергетической установки, с показателями которой сравнивается эффективность утилизационной установки работы теплоэнергетического агрегата – источника ВЭР. Как правило, в качестве замещаемой установки рассматривается промыш-

ленная котельная или ТЭЦ.

Коэффициент выработки теплоты  $S$  зависит от несовпадения режимов работы утилизационной установки и теплоэнергетического агрегата – источников ВЭР, которые определяются потребителем теплоты.

При использовании тепловых ВЭР предприятиями, которые снабжаются теплом централизовано от ТЭЦ, экономия топлива за счет ВЭР определяется с учетом увеличения расхода топлива на ТЭЦ

$$DB = Q_\phi \left[ \frac{0,0342}{h_{TЭЦ}} - \varrho_{y\partial} (\varrho_K - \varrho_T) \cdot 10^{-6} \right], \quad (6.9)$$

где  $h_{TЭЦ}$  – КПД котельной ТЭЦ,  $\varrho_{y\partial}$  – удельная выработка электроэнергии на ТЭЦ (кВт·ч/ГДж);  $\varrho_K$  – удельный расход топлива на выработку электроэнергии по теплофикационному циклу, грамм условного топлива на 1 кВт/ч;  $\varrho_m$  – удельный расход топлива на выработку электроэнергии на замещаемой ТЭЦ, грамм условного топлива на 1 кВт/ч.

При использовании горючих ВЭР экономия топлива определяется по формуле

$$B = 0,0342 Q_\phi \frac{h_1}{h_2}, \text{ т.у.т.} \quad (6.10)$$

где  $Q_\phi^r$  – фактические горючие ВЭР (ГДж/год),  $h_1$ ,  $h_2$  – КПД топливоиспользующего агрегата при работе на горючих ВЭР и КПД того же агрегата при работе на первичном топливе.

Отношение  $h_1/h_2$  – зависит от физических свойств горючих ВЭР. Для высококалорийных горючих ВЭР это отношение равно единице.

Направление использования ВЭР зависит от величины, структуры и режима энергопотребления предприятия, а также от вида, параметров и количества образующихся ВЭР. В каждом конкретном случае направление использования ВЭР производится на основе разработки оптимального топливно-энергетического баланса предприятия с учетом достижения максимальной экономической эффективности при минимальных капитальных затратах на утилизацию ВЭР.

Необходимые данные для расчета выхода ВЭР, образуемых при работе теплоэнергетических агрегатов, получают на основе технических паспортов оборудования или по результатам балансовых и наладочных испытаний установок – источников ВЭР. Выход ВЭР от установок зависит также от ряда факторов технологического характера, поэтому график выхода ВЭР очень часто может иметь значительную неравномерность.

В расчетах обычно используют возможную выработку ВЭР в утилизационной установке для установившегося технологического режима.

Возможная выработка ВЭР в утилизационной установке определяется по

формуле

$$Q_{BEP} = G_{вых.}^{BEP} \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \cdot b \cdot h_{ym} \cdot t_d, (\text{кДж}), \quad (6.11)$$

где  $Q_{BEP}$  – количество теплоты, полученной в утилизационной установке (кДж);  $G_{вых.}^{BEP}$  – выход ВЭР (кг/ч);  $c$  – теплоемкость теплоносителя на выходе из тепло-технологического агрегата – источника ВЭР (кДж/кг·град);  $t_1$  – температура на входе и выходе  $t_2$  из утилизационной установки;  $b$  – коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы утилизационной установки и технологического оборудования - источника ВЭР ( $b = 0,8–0,95$ );  $\eta_{ут}$  - К.П.Д. утилизационной установки ( $h_{ym} = 0,75–0,96$ );  $t_d$  – действительное время использования ВЭР (ч).

При разработке мероприятий по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) или выборе вариантов использования ВЭР необходимо определять приведенные затраты. Приведенные годовые затраты определяются по уравнению

$$З = K \cdot E_H + C_{экс}, \quad (6.12)$$

где  $З$  – годовые приведенные затраты (у.е.);  $E_H$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений ( $E_H = 0,15$ );  $K$  – капиталовложения (у.е.);  $C_{экс}$  – годовые эксплуатационные расходы (у.е.).

Экономическая эффективность использования ВЭР или мероприятий, связанных с модернизацией оборудования, определяется минимумом приведенных годовых затрат при выборе того или иного варианта при условии их сопоставимости.

За наиболее экономически выгодный принимают вариант, соответствующий минимуму приведенных годовых затрат. В соответствии с этим при расчете экономической эффективности использования ВЭР учитывается экономия текущих издержек на топливо. При этом сравнивают два варианта энергоснабжения (теплоснабжения):

1. Обеспечение потребителя энергией с учетом использования ВЭР;
2. Обеспечение потребителя энергией в тех же объемах без использования ВЭР.

Варианты должны сравниваться в одинаковых условиях по объему и режиму подачи энергии потребителю, при одинаковых по техническому совершенству тепловых схем и оборудования, по надежности энергоснабжения.

Если выход ВЭР позволяет обеспечить производство энергии в количестве, превышающем потребности данного предприятия, то в расчете экономической эффективности следует исходить из необходимости использования ВЭР в полном объеме за счет энергоснабжения другого близлежащего промышленного предприятия. В приведенных затратах по варианту с использованием ВЭР учитываются затраты на сооружение и эксплуатацию утилизационной установки.

Экономический эффект от использования ВЭР рассчитывается как раз-

ность приведенных годовых затрат по сравниваемым вариантам:

$$D\mathcal{E} = C_{\mathcal{E}KC}^{\delta.ym} - C_{\mathcal{E}KC}^{ym} + E_H(K_{\delta.ym.} - K_{ym.}), \text{ (у.е./год).} \quad (6.13)$$

Использование ВЭР экономически оправдано в том случае, если величина экономии  $\Delta\mathcal{E}$  имеет положительный знак. Индексы “ $\delta.ym.$ ” и ” $ym.$ ” обозначают варианты энергоснабжения без утилизации и с утилизацией ВЭР.

Формулу можно записать в следующем виде:

$$D\mathcal{E} = B_{\mathcal{E}K} \cdot C_{mon} + DC + E_H(K_{ym.} - K_{\delta.ym.}), \text{ (у.е./год),} \quad (6.14)$$

где  $B_{\mathcal{E}K}$  – экономия условного топлива при использовании ВЭР (т.у.т./год);  $C_{mon}$  – замыкающие затраты на единицу сэкономленного топлива (у.е./ т.у.т.);  $DC$  – разность эксплуатационных затрат в сравниваемых вариантах без учета затрат на топливо. Величина  $DC$  учитывает изменение затрат на воду, электроэнергию, текущий ремонт и т.п.

Замыкающие затраты на топливо (природный газ, мазут) можно принимать до 100 у.е.

Расчет экономической эффективности капиталовложений в энергосберегающие мероприятия оцениваются сроком окупаемости капитальных затрат по зависимости

$$T = \frac{K}{D\mathcal{E} - C_{\mathcal{E}KC}}, \text{ лет,} \quad (6.15)$$

где  $K$  – требуемый объем капиталовложений в мероприятие по использованию ВЭР (у.е.);  $D\mathcal{E}$  – годовая экономия, достигаемая в результате мероприятий по использованию ВЭР или модернизации оборудования.

Возможная экономия условного топлива от утилизации ВЭР определяется

$$B_{usl.}^{BEP} = \frac{\sum Q_{BEP}}{Q_{n.usl.}^P}, \text{ (кг/год),} \quad (6.16)$$

где  $Q_{n.usl.}^P = 29300$  (кДж/кг) – теплота сгорания условного топлива.

Экономический эффект за счет энергосберегающих мероприятий при утилизации ВЭР определяется

$$D\mathcal{E} = B_{usl.}^{BEP} \cdot \mathcal{L}_{usl.m.}, \text{ (у.е.),} \quad (6.17)$$

где  $\mathcal{L}_{usl.m.}$  – цена 1 тонны условного топлива.

При расчете расхода условного топлива на выработку тепла в замещаемой установке (промышленная котельная, ТЭЦ), расход условного топлива опреде-

ляется

$$B_{ysl.}^{BEP} = \frac{\sum Q_{BEP}}{29300 \cdot h_c \cdot h_k}, \text{ (кг/год)}, \quad (6.18)$$

где  $h_c$  – К.П.Д. тепловых сетей ( $h_c = 0,8\text{--}0,96$ );  $h_k$  – К.П.Д. котельной ( $h_k = 0,75\text{--}0,9$ ).

Возможная выработка электроэнергии в утилизационном турбогенераторе за счет использования ВЭР в виде избыточного давления пара определяется формулой

$$W = D_{\Pi}^{BEP} \cdot l_{ad.} \cdot t_d \cdot h_{oi} \cdot h_m \cdot h_e, \text{ (кВт·ч/год)}, \quad (6.19)$$

где  $D_{\Pi}^{BEP}$  – секундный расход пара на турбину (кг/с);  $l_{ad.}$  – работа адиабатного расширения пара в турбине (кДж/кг);  $t_d$  – действительный фонд времени работы агрегата-источника ВЭР (ч);  $h_{oi}$  – внутренний относительный К.П.Д. турбины;  $h_m$  – механический К.П.Д. турбины;  $h_e$  – К.П.Д. электрогенератора. При выработке электроэнергии на КЭС или ТЭЦ удельный расход условного топлива  $\varrho_{ysl.} = 0,36\text{--}0,38$  кг/кВт·ч. Одной из важнейших задач совершенствования тепло-технических процессов является возможно более полное выявление резервов ВЭР, и экономически, а также экологически обоснованное их полное использование для целей производства. Экономия ТЭР при использовании резервов ВЭР может составлять 25–30% от первичных энергоресурсов.

В случае использования водяного пара от утилизационной установки выработка электроэнергии

$$W = \frac{D_{\Pi}^{BEP} (i_1 - i_2) \cdot h_m \cdot h_s}{3600}, \text{ (кВт·ч/год)}, \quad (6.20)$$

где  $D_{\Pi}^{BEP}$  – годовой расход пара на выработку электроэнергии. тыс.т. в год;  $i_1$  и  $i_2$  – энталпия пара на входе и выходе из паровой турбины (кДж/кг), определяется по  $i-Z$  диаграмме водяного пара.

При силовом направлении использования ВЭР экономия топлива определяется

$$B_{ek} = \varrho_{el} \cdot W, \text{ (т.у.т./год)}, \quad (6.21)$$

где  $\varrho_{el}$  – удельный расход топлива на выработку электроэнергии в энергетической системе или на замещаемой установке, с показателями которой сравнивается эффективность использования ВЭР, грамм условного топлива на 1 кВт·ч.

Экономический эффект от использования ВЭР может определяться разницей в годовых приведенных затратах за счет сэкономленной при утилизации энергии

$$\mathcal{E}_{ym} = D\mathcal{E} - E_h \cdot K, \text{ (у.е.)}, \quad (6.22)$$

где  $D\mathcal{E}$  – стоимость энергии, сэкономленной в процессе утилизации ВЭР;

Стоимость сэкономленной энергии находится из выражения

$$D\mathcal{E} = 3600 \cdot DQ_{BEP} \cdot t_{\partial \cdot \mathcal{E}_{y\partial}}, \text{ (у.е.)}, \quad (6.23)$$

Здесь:  $DQ_{BEP}$  – энергия, полученная за счет утилизации ВЭР (кВт);  $\mathcal{E}_{y\partial}$  – удельная стоимость энергии, полученной в утилизационном аппарате. Стоимость единицы энергии за счет утилизации ВЭР определяется по стоимости сэкономленного условного топлива

$$DB_{yсл.} = \frac{DQ_{BEP}}{Q_{н.усл.}^P + i_{выб.}}, \text{ (кг/с)}, \quad (6.24)$$

где  $i_{выб.}$  – энталпия выбрасываемого в атмосферу теплоносителя за утилизатором ВЭР, (кДж/кг).

Годовая стоимость сэкономленного условного топлива

$$\mathcal{E}_{mon.}^{yсл.} = 3600 \cdot DB_{yсл.} \cdot t_{\partial} \cdot \mathcal{L}, \text{ (у.е.)}, \quad (6.25)$$

где  $\mathcal{L}$  – цена 1 тонны условного топлива ( $\mathcal{L}= 95$  у.е.).

Удельная стоимость энергии, полученной за счет утилизации ВЭР

$$\mathcal{E}_{y\partial.} = \frac{\mathcal{E}_{mon.}^{yсл.}}{DQ_{BEP}^{год}}, \text{ (у.е./кДж)}, \quad (6.26)$$

Здесь:  $DQ_{BEP}^{год}$  определяется за расчетный период работы утилизационного оборудования

$$DQ_{BEP}^{год} = DQ \cdot 3600 \cdot t_{\partial}, \text{ (кДж/год)}, \quad (6.27)$$

Использование ВЭР является экономически целесообразным при положительном значении разности ( $\mathcal{E}_{ym} > 0$ ) в формуле (6.22) и сроке окупаемости капиталовложений  $T \leq 3-4$  года.

## 6.4. Вторичные энергетические ресурсы в теплотехнических процессах и аппаратах текстильной и легкой промышленности

### 6.4.1. Общие вопросы

В энергетических балансах предприятий текстильной и легкой промышленности значительное место занимают вторичные энергетические ресурсы.

Экономия топливно-энергетических ресурсов может быть реализована по двум направлениям. Во-первых, за счет усовершенствования технологических процессов и аппаратов (новых энергосберегающих технологий), благодаря чему достигается повышение КПД и снижается расход топлива. Во-вторых, посредством утилизации ВЭР, которые неизбежно возникают в больших объемах, и за счет которых в текстильной и легкой промышленности можно получить экономию топлива до 30-35%.

Технология производства текстильных и обувных материалов в текстильной и легкой промышленности характеризуется большим числом процессов, в которых материал обрабатывается горячими растворами с температурами от 80 до 140°C или насыщенным паром с температурой 130-170 °C. Поэтому теплоиспользующее оборудование целесообразно рассматривать *не только с учетом происходящих технологических процессов, но с учетом вопросов утилизации ВЭР от агрегатов*.

По цикличности работы *теплоиспользующие установки текстильной промышленности* можно подразделить на машины периодического и непрерывного действия. В машину периодического действия загружается определенное количество материала. По окончании цикла обработки материал выгружается. В машину непрерывного действия в процессе работы материал подается постоянно и, пройдя необходимую обработку, непрерывно выходит. Машины непрерывного действия обычно один раз в смену или один раз в несколько смен выходят на установившийся режим и длительное время работают в этом режиме. Они требуют меньшего расхода теплоты на обработку единицы продукции, чем машины периодического действия, так как отпадают бесполезные потери теплоты на разогрев и другие виды потерь, связанных с цикличностью работы машины. Машины непрерывного действия имеют большую производительность, чем машины периодического действия. Они могут входить в состав технологической линии непрерывной обработки материала, хорошо поддаются механизации и автоматизации.

Использование машин периодического действия целесообразно в тех случаях, когда длительность процесса обработки материала слишком велика и не может быть обеспечена в машине непрерывного действия, а также если слишком мала партия материала, поступающего на обработку.

В зависимости от способа подвода теплоты к обрабатываемому материалу теплоиспользующие установки текстильной промышленности можно подразделить на следующие виды:

- а) машины для обработки материалов в жидкости,
- б) конвективные сушильные машины,
- в) контактные сушильные машины,
- г) терморадиационные сушильные машины,
- д) высокочастотные сушильные машины,
- е) машины для влажно-тепловой обработки материалов.

В машинах для обработки материалов в жидкости материал получает теплоту от раствора, в котором находится. Используют два основных способа на-

гревания раствора: обогрев острый паром, при котором греющий пар подается непосредственно в объем нагреваемой жидкости и там конденсируется; обогрев глухим паром, при котором греющий пар подается в рекуперативный теплообменник и не вступает в прямой контакт с нагреваемым раствором.

В конвективных сушильных машинах материал получает теплоту от сушильного агента (обычно воздуха) конвективным путем.

В контактных сушильных машинах подвод теплоты к материалу происходит путем контакта материала с греющей поверхностью, т. е. теплопроводностью.

Во всех сушильных машинах подведенная к материалу теплота расходуется на его нагрев и испарение влаги. Образующийся водяной пар поступает в объем воздуха, находящегося в сушильной камере. Поэтому в сушильных машинах необходимо поступление в сушильную камеру свежего воздуха и *удаление отработавшей паровоздушной смеси*, которая *представляет собой ВЭР от сушильных аппаратов с температурой целесообразной к утилизации – 120-170°C*. В конвективных сушильных машинах воздух кроме выполнения функции удаления испарившейся влаги служит и для подвода теплоты к материалу.

В конвективных и контактных сушильных машинах текстильной промышленности обычно в качестве греющего теплоносителя используют водяной пар давлением 0,3—0,8 МПа и температурой насыщенного пара 130-170°C, *конденсат которого является высокоеффективным видом ВЭР*.

Влажно-тепловая обработка заключается в воздействии на материал водяного пара или газовоздушной смеси при повышенной температуре. Влажно-тепловая обработка позволяет ускорить протекание в материале необходимых физико-химических реакций.

Если в машине влажно-тепловой обработки производится проявление (вызревание) красок, нанесенных на ткань печатанием, то она называется зрельником. К остальным видам машин влажно-тепловой обработки относятся запарные камеры, декатиры, отделочные каландры.

Одним из вариантов использования запарных камер является применение их при отварке материалов, позволяющее повысить производительность технологического процесса, снизить удельный расход теплоты, повысить качество обработки.

Характерной особенностью машин влажно-тепловой обработки материалов является то, что подвод теплоты к материалу в стадии его нагрева осуществляется путем конденсации пара из окружающей паровой или паровоздушной среды. Следовательно, в рабочую камеру машины влажно-тепловой обработки обязательно должен подаваться пар (острый пар).

Текстильная и легкая промышленность отличается исключительным разнообразием типов и конструкций энерготехнологических установок. Поэтому рассмотреть все варианты конструкций машин не представляется возможным.

#### 6.4.2. Теплотехнологические агрегаты текстильной и легкой промышленности – источники ВЭР

Рассмотрим некоторые технологические процессы, которые непосредственно связаны со значительным выходом ВЭР от теплотехнологических агрегатов – источников ВЭР. По объемам выхода ВЭР от основных теплотехнологических агрегатов можно судить о энергосберегающем потенциале, резервах ВЭР и возможной экономии топлива за счет наиболее полного использования ВЭР в текстильной и легкой промышленности.

**Отварка.** Целью отварки является удаление природных, а также технологических примесей, нанесенных на волокно в процессе прядения и ткачества. После отварки волокно приобретает высокую смачиваемость и сорбционную способность.

Для отварки используют водные растворы гидроксида, карбоната, бисульфата, силиката натрия и другие вещества. Концентрация указанных веществ в водном растворе не превышает 10—15 г/л.

Схемы основных технических методов отварки представлены на рис. 6.11. Традиционным периодическим способом является отварка в котлах (рис. 6.11, а). Чтобы этот процесс был непрерывным, используют другие технологические схемы (рис. 6.11, б-д), в состав которых входит камера запаривания. Использование последних позволяет сократить цикл обработки с 10-15 ч (в котлах) до 1,5-3 ч.

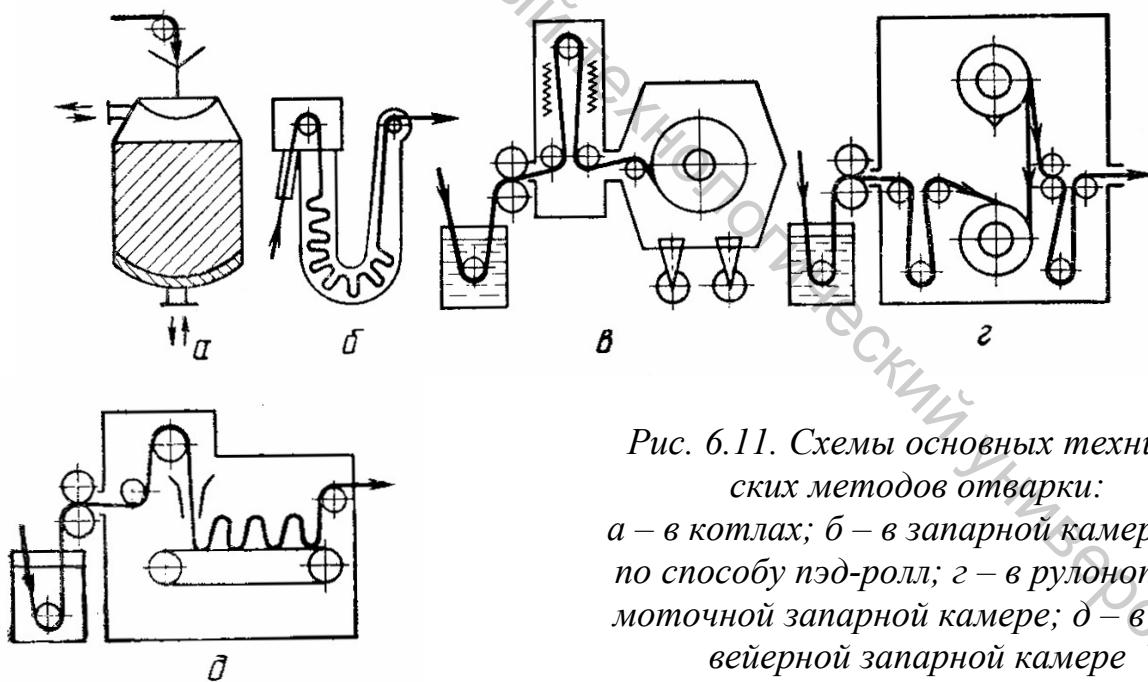


Рис. 6.11. Схемы основных технических методов отварки:  
а – в котлах; б – в запарной камере; в – по способу пэд-ролл; г – в рулоноперемоточной запарной камере; д – в конвейерной запарной камере

Примером машины для периодической отварки материалов может служить варочный котел ИвНИТИ, который состоит из котла 7 (рис. 6.12) с нижним 11 и верхним 10 ложными днищами, кожухотрубного подогревателя с плавающей головкой 15; буферной емкости 4, циркуляционного 3 и вакуумного 1 насосов, хоботного укладчика 9, закладного блока 8 и системы трубопроводов с задвижками 2, 5, 6, 12, 14, 18, 19, разделенной заглушкой 20 на две независимые ли-

нии. После загрузки материала в котел 7 его крышка закрывается и производится откачка воздуха вакуумным насосом 1. Затем подается раствор и производится заполнение системы. Прокачивание раствора через ткань, находящуюся в котле 7, осуществляется с помощью контура,ключающего циркуляционный насос 3, задвижку 2, кожухотрубный теплообменник 15, задвижку 18, котел 7, задвижку 5 и буферную емкость 4. Для создания равномерного поля скоростей раствора по всему сечению котла 7 имеется выполненное в виде колосников нижнее ложное днище 11 и выполненное в виде концентрических колец верхнее ложное днище 10. Раствор подается в котел как снизу вверх, так и сверху вниз. Буферная емкость 4 служит для компенсации, увеличения объема раствора при его нагревании. Раствор подогревается глухим паром в теплообменнике 15. Образующийся, конденсат сливается через конденсатоотводчик 16. Рабочая температура раствора в котле после разогрева составляет  $85-140^{\circ}\text{C}$ , давление до 0,6 МПа. После окончания отварки материала производится слив раствора, **который является видом ВЭР, обладающим высоким коэффициентом теплопередачи  $\alpha_m=2000-4000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$** . Затем через задвижки 13, 17 в теплообменник подается холодная вода для промывки. После снижения давления в кotle до атмосферного и промывки ткани горячей и холодной водой крышка открывается и материал выгружается. Общая длительность цикла работы до 12 ч. Загрузка, заполнение раствором, разогрев, охлаждение, промывка и выгрузка занимают до 6 ч.

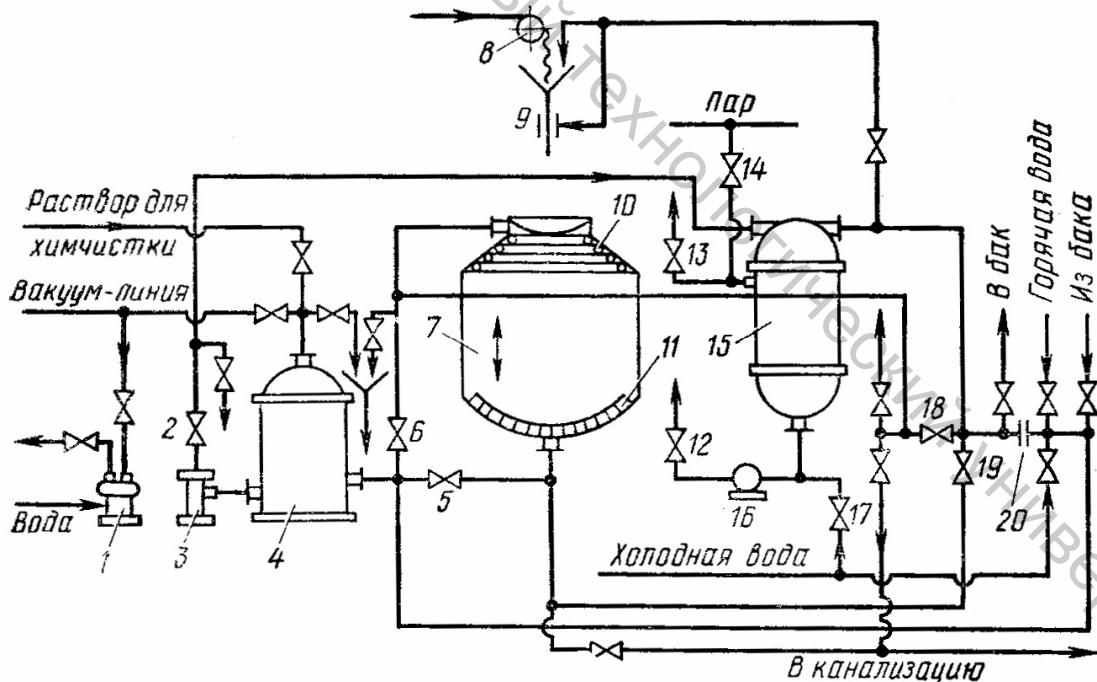


Рис. 6.12. Варочный котел ИвНИТИ

В современных высокопроизводительных технологических процессах отварка материала производится в запарных аппаратах, технологические схемы которых представлены на рис. 6.11, б - д.

**Беление.** Целью процесса беления является повышение белизны материа-

ла путем разрушения природных красящих веществ при воздействии на них окислителей или реже восстановителей. В качестве отбеливателей в текстильной промышленности используют такие вещества, как хлорная известь, гипохлорит натрия, перекись водорода, хлорит натрия, борогидрид натрия, гидросульфит натрия.

В настоящее время получили распространение линии непрерывного беления в жгуте и врасправку. Примером такой линии может служить линия ЛЖО-2, на которой последовательно осуществляются следующие операции: пропитка ткани щелочью, отварка в запарных аппаратах, промывка, кислование, промывка, пропитка белящим раствором, запаривание, промывка и укладка. Линия имеет систему автоматического регулирования скорости движения ткани, уровня растворов в ваннах и их температуры, контроля температуры пара в запарных машинах.

**После окончания операции беления сбросные растворы (как вид ВЭР) имеют температуру 90-140°C.**

Отечественная промышленность выпускает для беления тканей врасправку линии ЛОК-140, ЛОР-140 и др.

В качестве примера машины для беления производства зарубежных фирм можно привести агрегат для беления и крашения (рис. 6.13), который состоит из пропиточной машины 1, камеры инфракрасного обогрева 2 и передвижной запарной «камеры» 3.

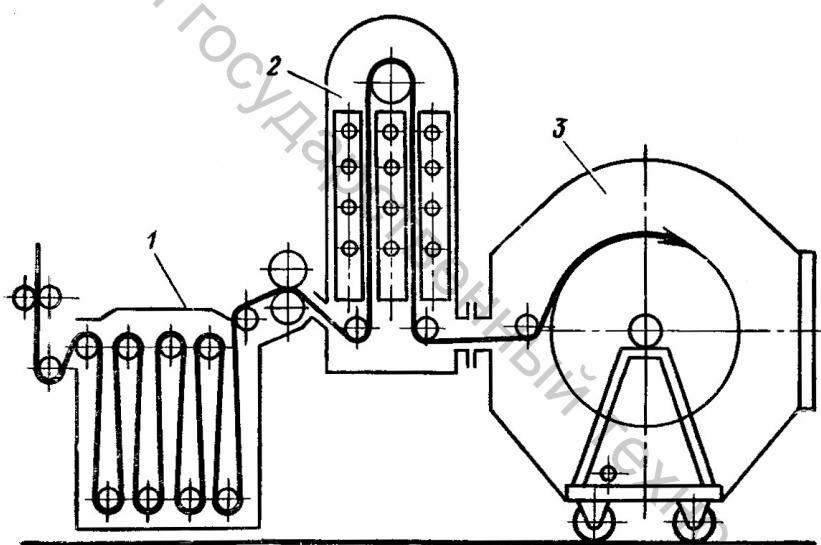


Рис. 6.13. Машина для беления и крашения ткани по способу пэд-ролл

«камеры» 3. После пропитки отбеливающим раствором ткань разогревается при помощи терморадиационного источника тепла, а затем происходит ее запаривание.

**Мерсеризация.** Дополнительной операцией, позволяющей повысить качество обрабатываемого материала, увеличить его прочность и способность к интенсивному окрашиванию, является мерсеризация. Сущность процесса заключается в обработке целлюлозных тканей или пряжи концентрированным раствором гидроксида натрия (200-300 г/л). В зависимости от вида материала и технологии обработки температура раствора при мерсеризации колеблется от 15 до 108 °С. Обработку при повышенной температуре проводят с целью улучшения пропитки материала раствором, повышения равномерности мерсеризации и скорости процесса. Если мерсеризация проводится в ваннах обычной конструкции, то сразу после обработки в горячем растворе гидроксида натрия следуют отжим и охлаждение материала до температуры 15°C. Иначе в присут-

ствии кислорода воздуха под воздействием горячей щелочи начинается деструкция материала. Другой способ мерсеризации материала при повышенной температуре предложен ИвНИТИ и заключается в проведении процесса в запарной камере при отсутствии кислорода.

В машинах традиционной конструкции для проведения мерсеризации сухую или мокроотжатую ткань пропитывают раствором гидроксида натрия при температуре 16–18°C. Затем ткань поступает на цепное поле (цепные машины) или на стабилизирующие цилинды (бесцепные машины), после чего следует промывка, сочетающаяся с нейтрализацией щелочи кислотой. Известны цепные машины ЛМЦ-140, машины фирмы «Киото» (Япония) и конструктивно похожие между собой бесценные машины объединения «Текстима» (ГДР), фирм «Вакаяма» (Япония), «Бентелер» (ФРГ) и «Бенингер» (Швейцария). Бесцепные (валковые) машины предназначены для мерсеризации средних и легких тканей и снабжены обрезиненными валами.

Большой интерес представляют машины с совмещенными процессами отварки и мерсеризации, что позволяет увеличить производительность процесса. Такой машиной является линия ЛМО-140, в состав которой входят 2 ванны для пропитки материала раствором гидроксида натрия, камера длительного запаривания КДЗ-140, выщелачиватель из двух ванн, 7 ванн для промывки и нейтрализации и барабанная сушильная машина. Особенность линии заключается в том, что ткань пропитывается щелочью при температуре около 100°C, отжимается и запаривается в камере КДЗ-140 при температуре 100–102°C в течение 60–90 мин. *После окончания процесса необходима утилизация теплоты сбросных растворов с температурой 90–100°C.*

**Крашение.** Крашение является одним из самых энергоемких процессов в текстильной промышленности *со значительным выходом различных ВЭР от красильных аппаратов.*

Под крашением текстильных материалов понимают физико-химический процесс взаимодействия волокна с красителями или веществами, образующими окраску, в результате которого материал приобретает окраску, устойчивую к внешним воздействиям. Если материал окрашивается в один цвет, то такой процесс называют гладким крашением или просто крашением. Если материал окрашивается только в некоторых местах или в несколько цветов, то такой процесс называют печатанием.

В качестве красителей используют самые разнообразные природные и искусственные вещества. Собственно процесс крашения можно условно разбить на следующие стадии: конвективный и диффузионный перенос частиц красителя из объема раствора к поверхности волокна; поглощение красителя наружной поверхностью волокна (адсорбция); диффузия красителя в глубь волокна; образование устойчивых межмолекулярных связей между волокном и красителем (закрепление, фиксация красителя). Исследованиями установлено, что самыми медленными стадиями процесса крашения являются адсорбция красителя и его диффузия в глубь волокна.

В зависимости от вида красителя крашение может осуществляться различ-

ными способами. При крашении прямыми, активными красителями проводится непосредственная обработка материала в растворе красителя. Если используют кубовые, сернистые красители, то крашение производят после восстановления раствора красителя. Если применяют протравные, основные красители, то материал предварительно обрабатывают протравой. При использовании нерастворимых азокрасителей в виде исходных компонентов материал обрабатывают в растворах исходных веществ, которые образуют окраску непосредственно на волокне. Этот краткий перечень далеко не исчерпывает весь набор веществ, используемых для крашения, и технологические особенности их применения.

Если крашение производят в аппарате периодического действия, то в рабочую ванну загружают определенное количество материала и обрабатывают его соответствующим раствором. Часто в одной и той же ванне аппарата периодического действия выполняется весь цикл крашения, а также промывка материала.

В текстильном производстве используют красильные аппараты периодического действия, работающие при атмосферном давлении, и аппараты с избыточным давлением в рабочей ванне. Повышенное давление позволяет увеличить температуру кипения красильного раствора, что дает возможность проводить крашение при повышенной температуре (обычно 130-140°C). При этом существенно уменьшается время обработки материала.

Кроме того, аппараты периодического действия для обработки материала в объеме раствора можно подразделить: на аппараты, в которых материал неподвижен, а циркулирует раствор; на аппараты, в которых отсутствует вынужденное движение раствора, а движется материал; на аппараты с вынужденной циркуляцией раствора и движением материала.

В аппаратах с неподвижным материалом окрашивают волокно, ровнику, пряжу и др. В аппаратах с движущимся материалом окрашивают ткани, трикотажные полотна и др. По качеству окраски аппараты периодического действия дают наилучшие результаты, хотя и требуют более высокого расхода теплоты, электроэнергии, воды.

Можно выделить полунепрерывный способ крашения, сочетающий элементы как периодического, так и непрерывного способа. Его сущность состоит в том, что ткань проходит через плюсовку, ванна которой заполнена красильным раствором, и сматывается в рулон. Рулон обработанной таким образом ткани выдерживают при соответствующей температуре в течение длительного времени (обычно 4-8 ч). Затем ткань промывают в машине непрерывного или периодического действия.

При применении непрерывного способа крашения ткань врасправку или в жгуте последовательно проходит одну или несколько красильных ванн. Чтобы окраска ткани всей партии была одинаковой, рабочие ванны такой линии должны постоянно пополняться свежим раствором. Только в этом случае концентрация красильного раствора в ваннах может оставаться неизменной во времени. Непрерывный способ крашения позволяет существенно повысить производительность труда, уменьшить расход теплоты, электроэнергии на единицу

продукции, автоматизировать производство. Высокая скорость крашения требует включения в технологическую линию аппаратов, интенсифицирующих процесс (запарные камеры, термокамеры и др.).

Отношение массы раствора, находящегося в аппарате для обработки материала в жидкости, к массе загруженного материала называют модулем ванны. Иногда модулем ванны называют обратную величину, т. е. отношение массы загруженного материала к массе раствора, а запись числового значения делают в виде дроби. Например, модуль ванны 1:5 означает, что на 1 кг материала приходится 5 кг раствора. Если отношение массы красителя к массе обрабатываемого материала взять постоянным, то с увеличением модуля ванны окраска материала будет светлее. Модуль ванны зависит от вида аппарата и способа обработки материала. Так, для роликовых красильных аппаратов он равен 3-6, для проходных аппаратов и плюсовок 6-12, для жгутовых красильных барок – 20-30.

На скорость крашения очень сильно влияет *температура раствора*. Чем выше температура, тем быстрее происходит диффузия красителя в глубь волокна, тем скорее достигается равновесное состояние между раствором и волокном. Одновременно с ростом температуры ослабляются межмолекулярные связи между волокном и красителем, что отрицательно оказывается на закреплении красителя. Следовательно, для каждой комбинации волокно – краситель существует своя оптимальная температура крашения. Обычно она колеблется от 40 до 95°C. Наряду с этим необходимость повышения производительности красильного оборудования приводит к поиску возможностей *повышения температуры процесса*.

Использование периодического способа крашения связано, главным образом, с необходимостью производства небольших партий материала с широкой гаммой расцветок.

К красильным машинам периодического действия относятся красильно-жгутовые барки, красильные аппараты, работающие под давлением, эжекторные машины.

В красильно-жгутовых барках производится крашение, закрепление красителя, промывка и другие обработки ткани в объеме жидкости. На рис. 6.14 приведена схема жгутовой барки фирмы «Брюкнер» (ФРГ). Рабочая ванна 1 имеет форму, удобную для организации движения ткани, и снабжена разделительными перегородками, препятствующими опутыванию петель ткани. При загрузке машины ткань 2, свернутую жгутом, заправляют петлями в ведущие и направляющие роли. Свободные концы ткани сшивают. В процессе обработки материала осуществляется непрерывное движение ткани через систему роликов, расположенных в воздушном пространстве рабочей ванны, и через объем заполняющего ее раствора. Предусмотрен отжим ткани с помощью отжимных валов 3, что улучшает условия массопереноса в объеме волокна. В процессе крашения осуществляется непрерывная циркуляция раствора по контуру, состоящему из рабочей ванны 1, насоса 7, рекуперативного теплообменника 6 и системы трубопроводов. Таким образом, в машине осуществляется обогрев рас-

твора глухим паром. В других конструкциях подобных машин возможны применение обогрева острым паром путем размещения перфорированных труб для подачи пара в рабочей ванне или комбинация обоих способов нагревания раствора. В данной машине использована подача подогретого в теплообменнике 6 раствора на ткань, проходящую верхний ребристый барабан, с помощью распределительного устройства 4, что способствует повышению скорости массообмена в материале. Для интенсификации промывки предусмотрена подача воды на верхний барабан. С целью удаления отделившегося от ткани волокна или других частиц под отжимными валами установлено корыто 5. Раствор, попавший в него вместе с отделяемыми частицами, проходит через фильтр 8 и вновь возвращается в систему.

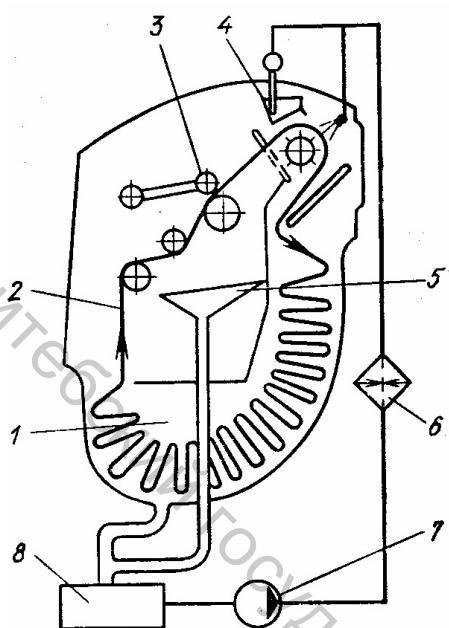


Рис. 6.14. Жгутовая барка  
фирмы «Брюкнер» (ФРГ)

рематывания практически не изменяется и составляет обычно 40–120 м/мин. Диаметр намотки ткани на рулон достигает 750–1200 мм, что позволяет размещать на рулоне 1000—3000 м ткани. Рабочая ширина при этом составляет от 1200 до 3200 мм. Теплообменный аппарат для обогрева раствора размещается вблизи днища рабочей ванны. При обогреве глухим паром теплообменный аппарат представляет собой плоский змеевик. В некоторых конструкциях рекуперативный теплообменник встроен непосредственно в днище ванны. Иногда используют и обогрев острым паром. Возможны варианты машины с выносным рекуператором и системой для организации вынужденной циркуляции раствора через него и рабочую ванну по замкнутому контуру. Современные красильно-роликовые машины имеют герметически закрываемую камеру со смотровыми окнами. Недостаток машин заключается в том, что в них можно обрабатывать не все ткани.

Более производительным является *плюсовочно-роликовый способ*. Он состоит в плюсовании ткани концентрированным раствором прямого красителя на плюсовке при температуре 50–95°C с последующим отжимом, нагреве оффлюсованной ткани инфракрасными лучами до температуры 85–100°C и накатывании ее в рулон в запарной камере. Рулон с тканью находится в запарной камере в течение 1–4 ч и во избежание подтеков непрерывно вращается с частотой 5–6 мин<sup>-1</sup>. С целью поддержания необходимой температуры и влажности в запарную камеру подается острый пар. Масса ткани в рулоне обычно составляет 600–800 кг. После окончания запаривания рулон с тканью поступает в промывной аппарат непрерывного действия.

Если материал и краситель позволяют проводить крашение при повышенной температуре, то производительность процесса можно повысить при ис-

пользовании аппаратов, работающих под давлением. По конструктивному принципу размещения теплообменного аппарата они делятся на аппараты с выносными теплообменниками и с теплообменниками, встроенными в красильный бак.

К аппаратам со встроенными теплообменниками относится красильный аппарат АКД-4. Приготовление красильного раствора осуществляется в баке в условиях подогрева острый ларом. Чтобы избежать потерь конденсата, в ряде машин раствор в приготовительном баке разогревается глухим паром при помощи встроенного рекуперативного теплообменника. Для перемешивания раствора имеется мешалка. Обрабатываемый материал (пряжа в бобинах, волокно в массе и пр.), укрепленный на металлическом стержневом носителе, помещается в красильный бак. Затем пневмогидравлическим механизмом раствор перекачивается из приготовительного бака в красильный. В процессе крашения при помощи насоса осуществляется циркуляция раствора через материал и встроенный в красильный бак рекуператор, обогреваемый глухим паром. Крашение проводится при давлении до 0,4 МПа и температуре до 140°C. После окончания цикла крашения раствор охлаждается водой в теплообменнике и, пройдя расширительный бак, возвращается в приготовительный бак для повторного использования или сбрасывается в канализацию. Охлаждение раствора необходимо для снижения давления насыщенного пара над его поверхностью до давления, не превышающего атмосферное. После слива горячего раствора из красильного бака производится частичный отжим материала сжатым воздухом, выгрузка и отвод раствора в бак-накопитель, с возможной последующей утилизацией теплоты сбросных растворов.

Более перспективны красильные аппараты со встроенными теплообменниками и циркуляционными насосами. Они более компактны, удобны в обслуживании, экономичнее в тепловом отношении. Примером подобного аппарата может служить горизонтальная красильная машина фирмы «Спенсер» (Голландия), упрощенная схема которой представлена на рис. 6.15.

Ось цилиндрического красильно-го бака этой машины расположена горизонтально, что

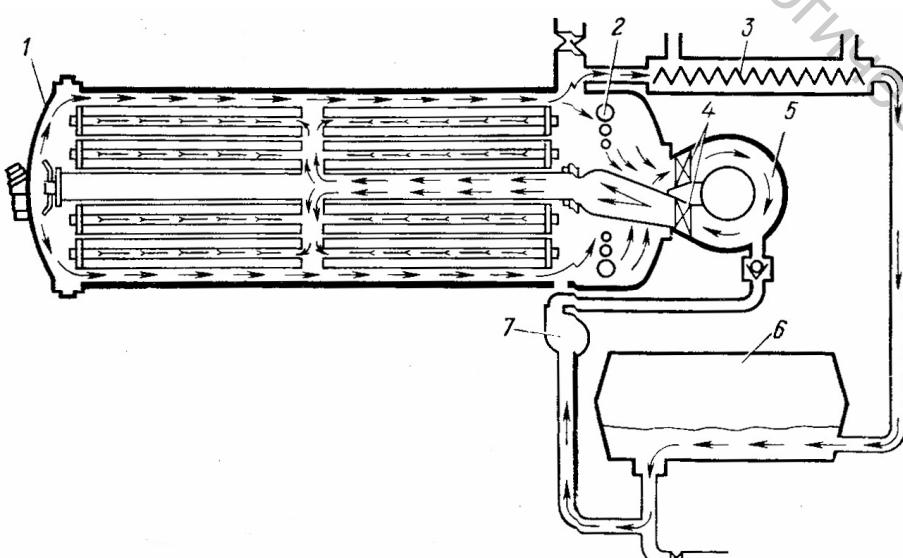


Рис. 6.15. Горизонтальная красильная машина фирмы «Спенсер» (Голландия)

делает более удобной загрузку и выгрузку материала при помощи специальной

тележки. На рис. 6.16 изображен вариант использования машины для крашения пряжи в бобинах. Материалоноситель вместе с установленными на его перфорированных трубах бобинами пряжи вставляется в красильный бак и закрепляется. Бак герметически закрывается крышкой 1. Затем осуществляются подача насосом 7 красильного раствора из резервуара 6, включение циркуляционного насоса 5 и разогрев раствора до требуемой температуры (до 140°C). Нагревание производится путем подачи пара в змеевиковый теплообменник 2 (на рисунке с целью упрощения трубы встроенного теплообменника 2 расположены в одной плоскости). В реальной конструкции теплообменник состоит из двух пучков U-образных труб, расположенных в заборе между материалом и стенками бака и занимающих более половины его длины. Тем самым создается необходимая площадь поверхности теплообмена. Красильный раствор циркуляционным насосом 5 подается через регулирующие задвижки 4 в центральную трубу материаланосителя и распределяется по перфорированным трубам. После прохождения через слой пряжи краситель направляется к теплообменнику 2, подогревается и вновь поступает в циркуляционный насос. Конструкция предусматривает возможность изменения направления движения красителя. После окончания цикла крашения ***теплота сбросного раствора может использоваться как ВЭР для подогрева воды красильных аппаратов.***

К машинам с высокой интенсивностью процесса крашения относятся эжекторные красильные машины. Их используют для крашения в жгуте тканей, не допускающих больших растягивающих усилий, трикотажных полотен и других материалов. Жгут ткани движется с потоком раствора, вытекающего с большой скоростью из эжектора, и при помощи приводного ролика. В эжекторе создаются благоприятные условия для интенсивного массообмена между раствором и тканью.

Одним из вариантов эжекторной красильной машины является аппарат фирмы «Спенсер» (Голландия). Его рабочая камера имеет U-образную форму. Заправка и выгрузка ткани производятся через люк 14 (рис. 6.16), снабженный смотровым стеклом. Сшитый в бесконечную ленту материал, пройдя через приводной ролик 13, попадает в эжектор, а затем в направляющую трубу 12 и укладывается петлями. Скапливающаяся таким образом ткань вытягивается из правого колена рабочей камеры и вновь поступает на приводной ролик. Собирающийся на днище камеры раствор поступает по трубопроводу 1 в фильтр 2, а затем насосом 4 направляется в рекуперативный теплообменник 9. Из теплообменника подогретый раствор поступает в эжектор. Часть раствора через вентиль 11 подается на участок входа ткани в эжектор, чтобы облегчить вход жгута в сужение. Другая часть поступающего из теплообменника раствора через вентиль 10 подается непосредственно в сопло эжектора и истекает в направлении движения ткани. В машине имеется также бак 3 для приготовления и слива раствора, снабженный устройством для обогрева острый паром. По окончании обработки ткани производится охлаждение раствора. Для охлаждения используется тот же теплообменник 9. При этом вентили подачи пара 8 и слива конденсата 6 закрываются, а открываются вентили подачи 5 и слива 7 холодной

воды. Часто рабочая камера эжекторной машины выполняется из нескольких одинаковых независимых секций, в которых одновременно окрашивается несколько жгутов материала. Число таких секций в некоторых конструкциях достигает шести.

Эжекторные машины имеют модуль ванны 5-10, скорость движения ткани 50-500 м/мин, температуру раствора - до 140 °С.

Для крашения больших партий ткани целесообразно использование машин непрерывного действия. В настоящее время для этой цели применяют универсальные красильные линии многоцелевого назначения УКЛ-120, ЛКЗ-120, КПС-110, ЛКС-140, ЛКС-140-2.

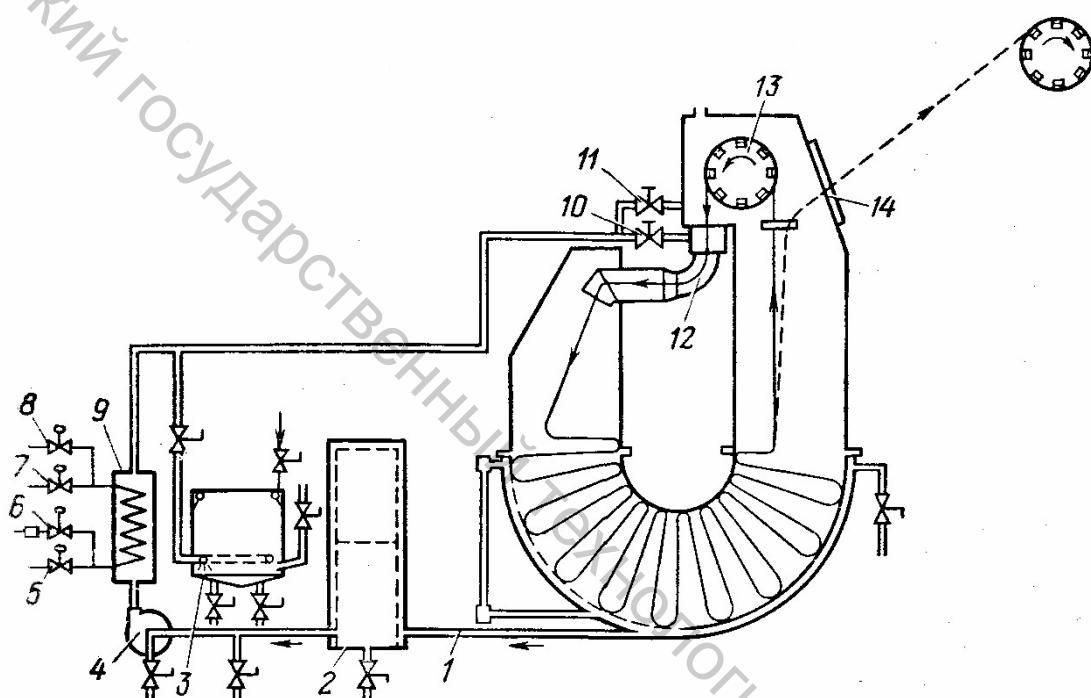


Рис. 6.16. Эжекторная красильная машина фирмы «Спенсер» (Голландия)

**Промывка.** Многочисленные стадии обработки текстильного материала требуют его промывки. Так, например, промывка ткани после печатания является не менее важной технологической операцией, чем сам процесс печатания и фиксации красителя.

Процесс промывки материала должен обеспечивать интенсивный массоперенос между материалом и промывающим раствором. Повышению эффективности промывки способствуют факторы, повышающие растворимость и коэффициент диффузии удаляемых из материала веществ в промывающем растворе. Поэтому для повышения качества промывки необходимо повышение скорости промывающего раствора при его прохождении сквозь материал, турбулизация раствора у поверхности материала, использование противоточной схемы движения раствора и материала. Важное значение имеет температура, при которой производится промывка. Так как с ростом температуры раствора увеличивается скорость диффузии и растворимость удаляемых из материала веществ, повы-

шение ее способствует улучшению качества промывки.

Режим промывки зависит от природы материала и удаляемых из него веществ. Например, при промывке хлопчатобумажных тканей после печати активными красителями на проходном промывном аппарате производятся следующие операции: плюсование раствором, содержащим специальные химические препараты; промывка холодной проточной водой; промывка горячей водой при температуре 90...95°C; промывка раствором моющего препарата при температуре 90...95°C.

По конструктивным признакам промывные машины можно подразделить на роликовые, машины с сетчатыми барабанами, валичные и жгутовые (рис. 6.17). В роликовых промывных машинах (рис. 6.17, а) ткань или многократно погружается в промывной раствор (при вертикальной проводке ткани), или движется горизонтальными петлями навстречу стекающему по ней потоку жидкости. В машинах с сетчатыми барабанами (рис. 6.17, б) итромывной раствор прокачивается сквозь материал и отверстия барабана. В валичных промывных машинах (рис. 6.17, в) осуществляется многократное повторение пропитки и отжима ткани. В жгутовых промывных машинах (рис. 6.17, г) ткань в жгуте обрабатывается в промывном растворе и затем отжимается.

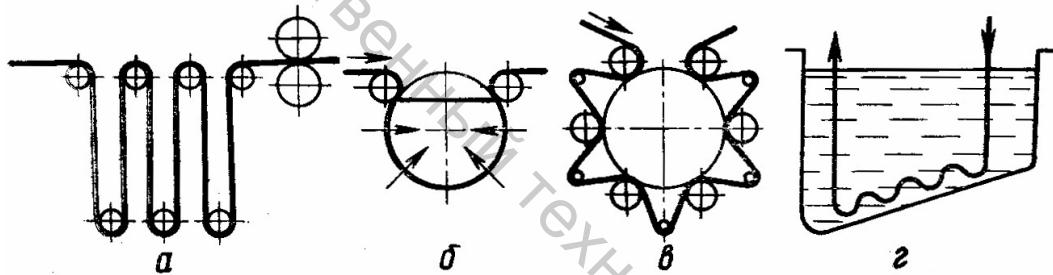


Рис. 6.17. Схемы промывных машин

**Способы теплоснабжения машин для обработки материала в жидкости.** Характерной особенностью рассмотренных выше машин является наличие теплообменного аппарата, встроенного в рабочую ванну или вынесенного за ее пределы. На практике обычно используют обогрев жидкости глухим или острым паром. Для обогрева острым паром характерны простота и удобство обслуживания теплопередающего устройства, высокая скорость разогрева жидкости, обусловленная только расходом греющего пара. При обогреве глухим паром необходим рекуперативный теплообменный аппарат с развитой поверхностью теплообмена, что удорожает изготовление теплоиспользующей установки. В процессе эксплуатации необходима периодическая очистка поверхности теплообменника от загрязнений со стороны нагреваемого раствора. Достижимая скорость разогрева раствора существенно ниже, чем при обогреве острым паром. Обогреву глухим паром соответствует и более высокий эксплуатационный расход пара на теплоснабжение установки, что связано с большей энталпией конденсата. Тем не менее, в настоящее время проявляется тенденция к переводу машин для обработки материала в жидкости на теплоснабжение глухим паром.

Дело в том, что при обогреве острым паром конденсат смешивается с нагреваемым раствором и теряется как питательная вода для котлоагрегатов. Взамен потерянного конденсата приходится проводить химическую подготовку эквивалентного количества воды, что обходится довольно дорого. Этот недостаток обогрева острым паром в большинстве практических случаев оказывается существеннее его преимуществ. Кроме того, конденсат, попадающий в раствор, разбавляет его, что может отрицательно оказаться на некоторых физико-химических процессах. В связи с этим доля машин для обработки материала в жидкости с обогревом острым паром непрерывно сокращается. Нагрев жидкости острым паром стремится использовать только в тех случаях, когда обогрев глухим паром значительно увеличивает время разогрева установки, что отрицательно влияет на ее производительность. Это существенно для машин с большой массой разогреваемой жидкости. Иногда в подобных случаях машину снабжают как рекуператорам, так и устройством для обогрева острым паром, которое используют лишь в режиме разогрева.

Конструкции устройств для обогрева жидкости острым паром очень просты. Чаще всего это расположенные вблизи днища рабочей ванны перфорированные трубы. Конструкции рекуператоров для обогрева жидкости глухим паром, используемых в текстильной промышленности, выбирают из соображений минимальной загрязняемости поверхности теплообмена со стороны нагреваемого раствора и удобства ее очистки. В качестве встроенных в рабочую ванну рекуператоров обычно применяют двойное дно или плоский змеевик с уклоном в сторону выхода конденсата. Такой уклон необходим во избежание затопления конденсатом теплопередающей поверхности. В качестве вынесенных за пределы рабочей ванны аппаратов обычно используют кожухотрубные или секционные теплообменные аппараты. Выносные теплообменники имеют большую поверхность теплообмена, что обусловливает их использование в установках с большой массой нагреваемой жидкости. **Использование для нагрева рабочей жидкости «глухого» или «острого» пара для технологических аппаратов дает на выходе из них значительный выход различных ВЭР.**

В машинах для обработки материала в жидкости возможна как вынужденная, так и естественная циркуляция раствора. При вынужденной циркуляции раствора значения коэффициента теплопередачи в теплообменнике существенно выше, чем при естественной циркуляции, что положительно влияет на скорость разогрева раствора.

#### **6.4.3. Анализ основных видов тепловых вторичных энергетических ресурсов в текстильной промышленности**

Для теплоиспользующих установок текстильной промышленности главными являются тепловые ВЭР. Тепловые ВЭР – это тепловые отходы, представляющие собой энтальпию основной, побочной, промежуточной продукции, отходов производства, рабочих тел систем охлаждения технологических агрегатов.

гатов, теплоносителей, отработавших в технологических установках, тепла горячей воды и вторичного пара и др., которые могут использоваться для теплоснабжения других потребителей.

К основным видам тепловых ВЭР текстильной промышленности относятся теплота сбросных растворов от красильных и промывных аппаратов, теплота паровоздушной смеси от сушильных, запарных установок, теплота конденсата «глухого» пара от установок, использующих водяной пар как теплоноситель, отходящие топочные газы от котельных агрегатов и опальных машин, физическая теплота различных материалов, выходящих из теплоиспользующих машин.

1. Конденсат глухого пара как вид ВЭР получается при работе машин для обработки материала в жидкости, сушильных машин, машин для влажно-тепловой обработки материала.

Конденсат глухого пара, выходящий из рекуперативных теплообменников теплоиспользующих установок при нормальной работе конденсатоотводчиков, как правило, имеет давление 0,3–0,8 МПа и массовую долю пролетного пара 0,03–0,05, следовательно, энталпия конденсата может составлять 600–800 кДж/кг.

При этом уровень температуры конденсата составляет 120–160 °С, а коэффициент теплоотдачи достигает значений порядка 5000–10000 Вт/м<sup>2</sup>·град.

Высокая плотность, сравнительно низкая вязкость, отсутствие загрязняющих примесей, незначительная химическая активность позволяет использовать для утилизации тепла конденсата обычные рекуперативные теплообменные аппараты и трубопроводы из дешевых конструкционных сталей.

Совокупность всех этих показателей дает возможность утилизировать теплоту конденсата, используя простые теплообменники с небольшой поверхностью теплообмена, а следовательно, и при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах. Такой высокий энергетический потенциал конденсата при использовании его в утилизационных установках позволяет экономить расход первичного греющего пара на 10–25 %.

На текстильных предприятиях теплоту конденсата пара применяют для нагрева технологической воды. При этом охлаждение конденсата производится до температуры не ниже 70–80 °С, после чего конденсат возвращают на ТЭЦ или в котельную для использования его в качестве питательной воды котлоагрегатов. Переохлаждение конденсата ниже 70 °С не допустимо, так как приводит к повышению растворимости в нем различных газов и вызывает коррозию поверхностей трубопроводов и теплообменников. Возврат конденсата с температурой 120–160 °С, а тем более с наличием пролетного пара, приводит к увеличению расхода греющего пара для теплоснабжения установок, обработки питательной воды для котлов, увеличению потерь тепла при транспортировке конденсата, вызывает ухудшение гидравлического режима работы насосов и конденсатоотводчиков. Поэтому ТЭЦ и котельные конденсат повышенных параметров не принимают. При загрязнении конденсата в машинах с разогревом жидкостей и растворов глухим паром в красильных аппаратах охлаждение конденсата при

утилизации производится до температуры 35–40 °С и затем сбрасывается в канализацию.

Различают открытую и закрытую схемы сбора конденсата. По открытой схеме конденсат от теплоиспользующих установок поступает в конденсатосборный бак, сообщающей с атмосферой. При снижении давления конденсата образуется пар вторичного вскипания, с которым бесполезно теряется тепло в атмосферу. Прямой контакт воздуха с конденсатом приводит к развитию коррозии теплообменников и трубопроводов.

По закрытой схеме сбора конденсата конденсатосборный бак не сообщается с атмосферой. Используются схемы с предварительным охлаждением конденсата в рекуператоре-утилизаторе и с конденсатором пара вторичного вскипания. С точки зрения простоты изготовления и обслуживания и более полной утилизации тепла предпочтительнее схема с предварительным охлаждением конденсата.

Для схемы с конденсатором пара вторичного вскипания характерно снижение интенсивности теплообмена.

Теплота конденсата пара, как правило, используется для нагрева воды, используемой на технологические нужды или для горячего водоснабжения. При этом в теплоутилизационной схеме применяются секционные или кожухотрубчатые теплообменники. Конденсат как более чистый теплоноситель подается в межтрубное пространство, а нагреваемая вода в полости труб трубного пучка.

2. Одним из наиболее крупных потребителей тепла в текстильной промышленности является отделочное производство. Горячие сбросные растворы являются видом тепловых ВЭР от машин для обработки материала в жидкости. Так, например, для получения 1 кг ткани затрачивается от 5 до 10 кг пара и от 50 до 200 л горячей воды. Около 80% подведенной теплоты теряется с отработанной сбросной водой. Низкотемпературная сбросная вода с температурой порядка 50–90 °С является характерным для текстильных предприятий видом тепловых ВЭР. Такая вода не может использоваться в технологическом процессе и непригодна по энергетическим параметрам, высокой химической активностью и загрязненностью для систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции. Несмотря на невысокий температурный напор сбросных растворов коэффициенты теплоотдачи имеют порядок 2000–4000 Вт/м<sup>2</sup>·град, что позволяет использовать теплоту сбросных растворов для подогрева технологической воды с помощью небольших по поверхности теплообменника теплообменников – утилизаторов.

К наиболее сложным вопросам использования тепловых ВЭР сбросных растворов относится выбор конструкции теплообменников, работающих в условиях значительного содержания химически активных веществ (крашенине, беление, промывка), значительной загрязненности остатками нитей, волокон, пуха, очесами и др. примесями, которые снижают эффективность работы теплообменников. Наличие механических примесей, агрессивная среда и низкий температурный потенциал сбросных растворов предъявляет высокие требования к теплообменной аппаратуре. Конструктивные элементы теплообменной

аппаратуры должны выполняться из коррозиестойких материалов, стойкими к воздействию кислот и щелочей, с высокими коэффициентами теплопроводности. Теплообменники должны быть легкоразборными, удобными для чистки с наличием сменных фильтров для очистки механических примесей.

Наилучшими свойствами обладают пластинчатые теплообменники. Они просты в изготовлении, легко и быстро монтируются, компактны с небольшим расходом металла, имеют высокий коэффициент теплопередачи, незначительное гидравлическое сопротивление.

В текстильном производстве наибольшее применение получили именно такие конструкции теплообменников, которые позволяют быстро и с минимальными затратами осуществлять сборку и разборку аппаратов при очистке поверхностей от загрязнений. Из конструкций пластинчатых теплообменников широкое применение получили спиральные и пакетно-разборные, которые почти в два раза компактнее обычных кожухотрубчатых теплообменников.

Выбор типа теплообменника для утилизации тепла сбросных растворов определяется технологическим процессом. Например, для красильных цехов и отделке синтетических тканей рекомендуется использовать пластинчатые теплообменники в производствах, где окрашивается натуральное или штапельное волокно лучше применять трубчатые теплообменники. В трубчатых теплообменниках загрязненная вода движется по гладким трубам в горизонтальном направлении, что затрудняет осаждение твердых частиц. Очистка трубчатых теплообменников проще, чем пластинчатых.

Так как сброс растворов из машин для обработки материала в жидкости (автоклавов) осуществляется периодически, имеет залповый характер, то в системе утилизации данного вида тепловых ВЭР необходимо предусматривать наличие бака-аккумулятора, служащего баком-накопителем раствора, обеспечивающим постоянство расхода раствора через теплообменник-utiлизатор. Теплообменные аппараты смещающего типа в таких схемах утилизации тепла ВЭР не применяются, так как прямой контакт нагреваемого теплоносителя со сбросным раствором недопустим.

3. Источником отработавшей паровоздушной смеси являются сушильные машины и машины для влажно-тепловой обработки материала. Удельный вес теплопотребления на процессы сушки в текстильной промышленности достигает 30 %, при этом количество тепла, выбрасываемого из сушильного оборудования с паровоздушной смесью составляет 50 ч – 70% от подведенного тепла. Поэтому утилизация теплоты отработанной паровоздушной смеси играет важную роль в экономии топливно-энергетических ресурсов в текстильной промышленности. Паровоздушная смесь, как вид тепловых ВЭР, по показателям качества существенно уступает конденсату пара. Для отработавшего воздуха сушильных машин характерны сравнительно высокая температура 90–150 °C, низкий коэффициент теплоотдачи 20–40 Вт/м<sup>2</sup>·град, низкая плотность, наличие примесей, загрязняющих поверхности теплообмена, малые удельные плотности тепловых потоков. Совокупность этих показателей требует использования для утилизации тепла паровоздушной смеси громоздких теплообменников, приме-

нение сменных фильтров, создания специальной вентиляционной системы для концентрации тепловых потоков. Особенностью использования теплоты паро-воздушной смеси является то, что при ее охлаждении ниже точки росы начинается конденсация, а это приводит к коррозии теплообменников. Перечисленные причины затрудняют использование теплоты паровоздушной смеси. Однако в настоящее время утилизация данного вида тепловых ВЭР необходима, так как выход ВЭР этого вида соизмерим с суммарным выходом всех других видов вторичных энергоресурсов текстильной промышленности.

Теплоту отработавшей паровоздушной смеси можно использовать как для подогрева свежего воздуха, поступающего на вход в сушильную машину, так и для подогрева технологической воды, или воздуха для нужд вентиляции. С точки зрения увеличения коэффициента утилизации ВЭР, экономической эффективности использования капиталовложений и компактности теплообменной аппаратуры вариант подогрева воды паровоздушной смесью предпочтительнее, так как комбинация теплоносителей паровоздушная смесь – вода имеет коэффициент теплопередачи примерно в 2–3 раза выше, чем при комбинации теплоносителей паровоздушная смесь – воздух. При этом, чем больше массовая доля пара в смеси, тем выше коэффициент теплоотдачи от нее к поверхности теплообменника, и тем выше экономическая целесообразность использовать в качестве нагреваемого теплоносителя воду. Кроме того, при такой комбинации теплоносителей возможно применение в схемах утилизации ВЭР смесительных теплообменников, которые отличаются простотой изготовления и компактностью. Данное утверждение является справедливым для комбинации теплоносителей дымовые газы – вода.

Однако практическое использование теплоты отработавшей паровоздушной смеси для подогрева воды не всегда оказывается возможным. Горячая вода в таком количестве, в котором она может быть получена, оказывается не нужна. Поэтому варианты использования тепла паровоздушной смеси решают не только на основе экономической целесообразности, но и исходя из практических нужд конкретного предприятия. При применении рекуператоров для утилизации ВЭР паровоздушной смеси поверхность теплообмена со стороны смеси обязательно обременяется для увеличения поверхности теплообмена. В качестве теплообменников паровоздушная смесь – вода широко используется калориферы КФС, КФБ, СТД и др. При этом более предпочтительнее применение калориферов с пластинчатыми ребрами, которые легко поддаются очистке. Широкое применение для подогрева воды паровоздушной смесью получили барботажные смесительные аппараты, в которых смесь барботируется сквозь слой нагреваемой воды. В нагреваемую воду попадают примеси, содержащиеся в паровоздушной смеси. Для получения горячей воды, удовлетворяющей санитарным нормам, применяют схемы утилизации с промежуточным теплоносителем. В этом случае схема утилизации выглядит так: барботируемая смесь – промежуточная горячая вода; промежуточная горячая вода – горячая вода. Схема утилизации ВЭР будет иметь дополнительный смесительный аппарат.

В случае использования теплоты отработавшей паровоздушной смеси для

нагрева воздуха широко используются регенеративные теплообменные аппараты, а также пластинчатые теплообменники, которые имеют по сравнению с рекуператорами других типов наибольшую в единице объема поверхность теплообмена.

Для изготовления поверхности теплообмена пластинчатого рекуператора используются листы из конструкционной стали с коррозиестойким покрытием, используются алюминий, стекла, полимерные пленки и др. материалы. Поверхности теплообмена выполняются плоскими или гофрированными.

Наибольшей тепловой эффективностью при утилизации ВЭР теплоты паровоздушной смеси обладают вращающие регенеративные теплообменники и простые, дешевые контактные теплообменники, в которых процессы тепломассообмена протекают при соприкосновении двух теплоносителей.

Однако необходимо отметить, что перспективным направлением в экономии топливно-энергетических ресурсов в сушильных установках является не утилизация ВЭР паровоздушной смеси в различных установках, а сокращение потерь тепла, за счет применения рециркуляции или многократного использования сушильного агента с осушкой его в специальных аппаратах.

#### **6.4.4. Примеры расчета технологии утилизации основных тепловых ВЭР текстильной промышленности. Оценка потенциала энергосбережения от использования ВЭР**

Анализ основных видов тепловых ВЭР текстильной промышленности показывает, что главными являются тепловые ВЭР, к которым относятся теплота конденсата «глухого» пара от установок, использующих водяной пар как теплоноситель, теплота паровоздушной смеси от сушильных установок и аппаратов для влажно-тепловой обработки материалов и теплота сборных растворов от красильных и промывных аппаратов при обработке материала в жидкости.

Источниками отработавшей паровоздушной смеси и одновременно конденсата «глухого» пара являются сушильные установки, так как подогрев воздуха для сушки осуществляется водяным паром в калориферах.

Красильные, промывные и аналогичные аппараты, применяемые для протекания описанных технологических операций, также дают на выходе два вида ВЭР: теплоту конденсата «глухого» пара, так как теплоснабжение аппаратов происходит водяным паром и теплоту сбросных растворов от отработавших водных растворов.

Для машин обработки материала в жидкости используются два основных способа нагрева раствора: обогрев острым паром, при котором греющий пар подается непосредственно в объем нагревательной жидкости и там конденсируется (барботаж); обогрев «глухим» паром, когда греющий пар поступает в рекуперативный теплообменник, конденсируется и не вступает в прямой контакт с нагреваемым раствором.

**Пример расчета утилизации ВЭР от сушильных машин.**

**Задача 1.** Определить возможную выработку теплоты в утилизационных

установках за счет использования двух видов ВЭР от сушильных машин и рас- считать экономию условного топлива от утилизации теплоты конденсата «глу- хого» пара и теплоты паровоздушной смеси, если в цехе Оршанского льноком- бината установлено 10 сушильных установок с объемным выходом ВЭР в виде теплоты паровоздушной смеси от каждой установки  $V = 12000$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), с темпе- ратурой смеси на выходе из аппарата  $t'_1 = 120^\circ\text{C}$ .

Действительный годовой фонд времени работы сушильных аппаратов  $t_\phi = 3800$  часов, коэффициент несоответствия режима работы и числа часов основного и утилизационного оборудования  $b = 0,80$ , температура паровоздуш- ной смеси на выходе из теплообменника – утилизатора принимается  $t''_1 = 50^\circ\text{C}$ .

Возврат конденсата в котельную производится с температурой  $t_2 = 80^\circ\text{C}$ . Нагрев воздуха в калориферах осуществляется насыщенным водяным паром с температурой  $t_1 = 180^\circ\text{C}$ ,  $p = 1 \text{ МПа}$ .

В обоих теплообменниках-utiлизаторах подогревается вода для горячего водоснабжения и технологических нужд.

Температура воды на входе в теплообменник  $t'_2 = 15^\circ\text{C}$ , на выходе  $t''_2 = 50^\circ\text{C}$  при утилизации ВЭР от паровоздушной смеси и  $t_{2\kappa} = 70^\circ\text{C}$  при утили- зации ВЭР теплоты конденсата пара.

Рассчитать массовые расходы горячей воды в подогревателе за счет ис- пользования обоих видов ВЭР. Упрощенно принимаем для расчета КПД тепло- обменников-utiлизаторов  $h = 0,95$ , теплоемкость паровоздушной смеси  $c_p = 1$  (кДж/кг·град), плотность смеси  $r_c = 1$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), теплоемкость воды  $c = 4,2$  (кДж/кг·град).

#### **Решение:**

Возможная выработка теплоты в утилизационных теплообменниках за счет использования обеих видов ВЭР определяется по формуле

$$O_e^{BEP} = G_{1\kappa} \cdot c \cdot (t'_1 - t''_1) \cdot b \cdot h_{ym} \cdot t_\phi, \text{ ГДж},$$

где  $t'_1$  и  $t''_1$  – температуры на входе в утилизатор и на выходе из аппарата – источника ВЭР.

Выход ВЭР от теплоты паровоздушной смеси

$$G_{1\kappa} = V \cdot r \cdot m = 12000 \cdot 1 \cdot 10 = 120000 \text{ кг/ч},$$

где  $m$  – количество сушильных установок.

Возможный выход ВЭР за счет теплоты паровоздушной смеси от су- шильных агрегатов

$$Q_{1\kappa}^{BEP} = 120000 \cdot 10^3 \cdot (120 - 50) \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 3800 \cdot 10^{-9} = 23466 \text{ ГДж}.$$

Расход греющего пара на подогрев воздуха в калориферах определяется из уравнения теплового баланса для калориферной системы теплоснабжения сушильных аппаратов

$$Q_\kappa = D_n (t''_n - t'_\kappa) \cdot h_\kappa = G_{boz} \cdot c_e (t'_o - t''_1), \text{ кДж/ч},$$

где  $i''_n$  и  $i'_k$  – энталпии пара и конденсата при давлении пара  $p = 1 \text{ МПа}$ ;  
 $t'_o$  – температура пара при давлении пара  $p = 1 \text{ МПа}$ .

Часовой расход греющего пара на установки

$$D_n = \frac{G_{\text{возд}} \cdot c_e (t'_o - t''_1)}{(i''_n - i'_k) \cdot h_k} = \frac{120000 \cdot 1(180 - 120)}{(2778 - 762) \cdot 0,9} = 3968, \text{ кг/ч.}$$

Годовой расход греющего пара на калориферы сушильных установок

$$D_{n.e} = D_n \cdot t_\phi = 3968 \cdot 3800 \cdot 10^{-3} = 15078, \text{ т/год.}$$

Теплота паровоздушной смеси используется на подогрев воды для технологических нужд (например, для нагрева воды для красильных аппаратов).

Для нагрева воды паровоздушной средой используются пластинчатые калориферы типа КФБ, КФС, СТД, выпускаемые промышленностью. Для воздуховодяных теплообменников с коэффициентом оребрения  $y = 4 - 6$  КПД  $h_k = 0,8 - 0,85$ .

Производительность калориферной системы по горячей воде, нагреваемой от  $t'_2 = 15^\circ\text{C}$  до  $t''_2 = 50^\circ\text{C}$  определяется из уравнения теплового баланса для калориферов.

Часовая теплопроизводительность калориферной системы по паровоздушной смеси от сушильных машин

$$Q_k = G_{1e} \cdot c_e (t'_1 - t''_1) \cdot h_k = 120000 \cdot 1 \cdot 10^3 (120 - 60) \cdot 0,9 = 6,1, \text{ ГДж/ч.}$$

Часовая производительность калориферной системы по горячей воде

$$M'_e = \frac{Q_k \cdot 10^9}{c_{\text{вод}} \cdot \Delta t_{\text{вод}}} = \frac{6,1 \cdot 10^9}{4200 \cdot 35} = 41500, \text{ кг/ч.}$$

Действительная производительность калориферной системы по горячей воде

$$M_e = M'_e \cdot t_\phi \cdot b;$$

$$M_e = 41500 \cdot 3800 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 126160, \text{ т/год.}$$

Фактическая теплота, использованная для нагрева технологической воды  $Q_{\phi.e.}^{BEP} = M_e \cdot c_{\text{вод}} \cdot \Delta t_{\text{вод}} = 126160 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 35 = 18537, \text{ ГДж/год.}$

Коэффициент использования выработанной теплоты

$$s = \frac{Q_{\phi}^{BEP}}{Q_{1603}^{BEP}} = \frac{18537}{23466} \approx 0,79.$$

Теплота конденсата греющего пара используется в водоводяном подогревателе (бойлере) для подогрева питательной воды для котлов.

Возможная выработка теплоты за счет конденсата «глухого» пара

$$Q_{\phi.k.}^{BEP} = D_{n.e.} \cdot c_k (t'_k - t''_k) \cdot h_{ym} \cdot b, \text{ ГДж/год}$$

где  $D_{n.e.}$  – годовой расход греющего пара для сушильных установок, т/год,  $t'_k$  и  $t''_k$  – температуры конденсата на входе и выходе из утилизатора – во-

доводяного теплообменника.

$$Q_{\phi,k}^{BEP} = 15078 \cdot 10^3 (150 - 80) \cdot 4200 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 10^{-9} = 3196, \text{ ГДж/год.}$$

Масса нагреваемой питательной воды для котлов

$$M_{n.e.} = \frac{Q_{\phi,k}^{BEP}}{c_{\phi}(t_{n.e.} - t_o)} = \frac{3196 \cdot 10^9}{4200(100 - 15)} = 8950, \text{ т/год,}$$

здесь,  $t_{n.e.} = 100^\circ\text{C}$  – температура питательной воды для котлов,  $t_o = 15^\circ\text{C}$

– начальная температура холодной воды.

Фактическая выработка теплоты за счет конденсата «глухого» пара

$$Q_{\phi,k}^{BEP} = M_{n.e.} \cdot c_{\phi} \cdot \Delta t_{\phi} \cdot b = 8950 \cdot 10^3 \cdot 4200 \cdot 85 \cdot 0,8 \cdot 10^{-9} = 2556, \text{ ГДж/год.}$$

Коэффициент использованной выработанной теплоты за счет утилизаций теплоты конденсата «глухого» пара

$$S = \frac{Q_{\phi}^{BEP}}{Q_{\phi,k}^{BEP}} = \frac{2556}{3196} \approx 0,79.$$

Суммарная фактическая экономия топлива за счет использования двух видов ВЭР

$$B_{ycl.} = \frac{(Q_{\phi,e.}^{BEP} + Q_{\phi,k}^{BEP}) \cdot 10^9}{Q_{h,ycl.}^p \cdot 10^3 \cdot h_3} = \frac{(18537 + 2556) \cdot 10^9}{29300 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 800, \text{ т/год.}$$

или

$$B_{ycl.} = \frac{0,0342 \cdot (Q_{\phi,e.}^{BEP} + Q_{\phi,k}^{BEP})}{h_3},$$

$$B_{ycl.} = \frac{0,0342 \cdot 21093}{0,9} = 801,5, \text{ т/год.}$$

**Пример 2.** Красильный цех Оршанского льнозавода при обработке материала в жидкости в реакционных аппаратах – автоклавах периодического действия (процесс крашения пряжи на бобинах), работающих при избыточном давлении  $p = 0,2 \text{ МПа}$  и температуре раствора  $t_p = 130^\circ\text{C}$  с технологическим циклом крашения пряжи  $t = 5 \text{ ч}$  производит за смену два залповых выброса горячих сбросных растворов от пяти красильных аппаратов в теплоизолированный бак-накопитель общей массой горячих растворов за один цикл

$$G_p = G_1 \cdot 5 = 4000 \cdot 5 = 20000, \text{ кг/за цикл крашения.}$$

Температура горячих сборных растворов в баке-накопителе принимается  $t'_1 = 110^\circ\text{C}$ .

При двухсменной работе красильного цеха два залповых выброса отработанных растворов можно использовать или для подогрева питательной воды для автоклавов или горячего водоснабжения. Коэффициент несоответствия режима и числа часов работы основного аппарата и утилизационной установки  $b = 0,7$ .

Требуется рассчитать водонагреватель-аккумулятор с водяным обогревом горячими сбросными растворами из бака-накопителя для нагрева воды для питания красильных аппаратов общей массой

$$G_2 = 2000 \cdot 5 = 10000 \text{ кг/за цикл}$$

Температура питательной воды на входе в бак-аккумулятор  $t'_2 = 20^\circ\text{C}$ , температура греющей воды на входе  $t'_1 = 110^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопередачи для погруженных теплообменников с учетом увеличения термического сопротивления со стороны сбросных растворов от отложений  $K = 30 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$ .

Действительный фонд времени работы красильных аппаратов  $t_\phi = 250 \text{ дней/год}$ .

Определить экономическую эффективность от утилизации тепловых ВЭР от сбросных растворов, экономию условного топлива, сокращение расхода первичного греющего пара на разогрев раствора, конечные температуры нагреваемой воды  $t''_2$  и греющей воды  $t''_1$ , теплопроизводительность водяного аккумулятора по горячей воде, коэффициент использования выработанной теплоты  $\sigma$ .

### ***Решение.***

Нагрев питательной воды в водонагревателе-аккумуляторе является процессом нестационарным.

Секундный расход греющего теплоносителя (горячих сбросных растворов) определяется за время технологического цикла  $t = 5 \text{ ч}$ .

$$G'_1 = \frac{G_p}{t \cdot 3600} = \frac{20000}{5 \cdot 3600} = 1,11, \text{ кг/с},$$

$$G'_2 = 0,558.$$

Секундный расход нагреваемой питательной воды из водонагревателя-аккумулятора для питания автоклавов красильных аппаратов

$$G'_2 = \frac{G_2}{t \cdot 3600} = \frac{10000}{5 \cdot 3600} = 0,555, \text{ кг/с.}$$

Удельная производительность водоводяного аккумулятора находится из уравнения теплового баланса и теплопередачи для нестационарных условий теплообмена

$$K \cdot F = G'_1 \cdot c_1 \ln \frac{1}{1 - \frac{G'_2 \cdot c_2}{G'_1 \cdot c_1 \cdot t} \cdot \ln \frac{t'_1 - t'_2}{t'_1 - t''_2}}, \text{ Вт/град.}$$

Здесь, теплоемкости воды  $c_1 = c_2 = 4200 \text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{град}$ ,  $t$  – время нагревания воды в аккумуляторе в часах.

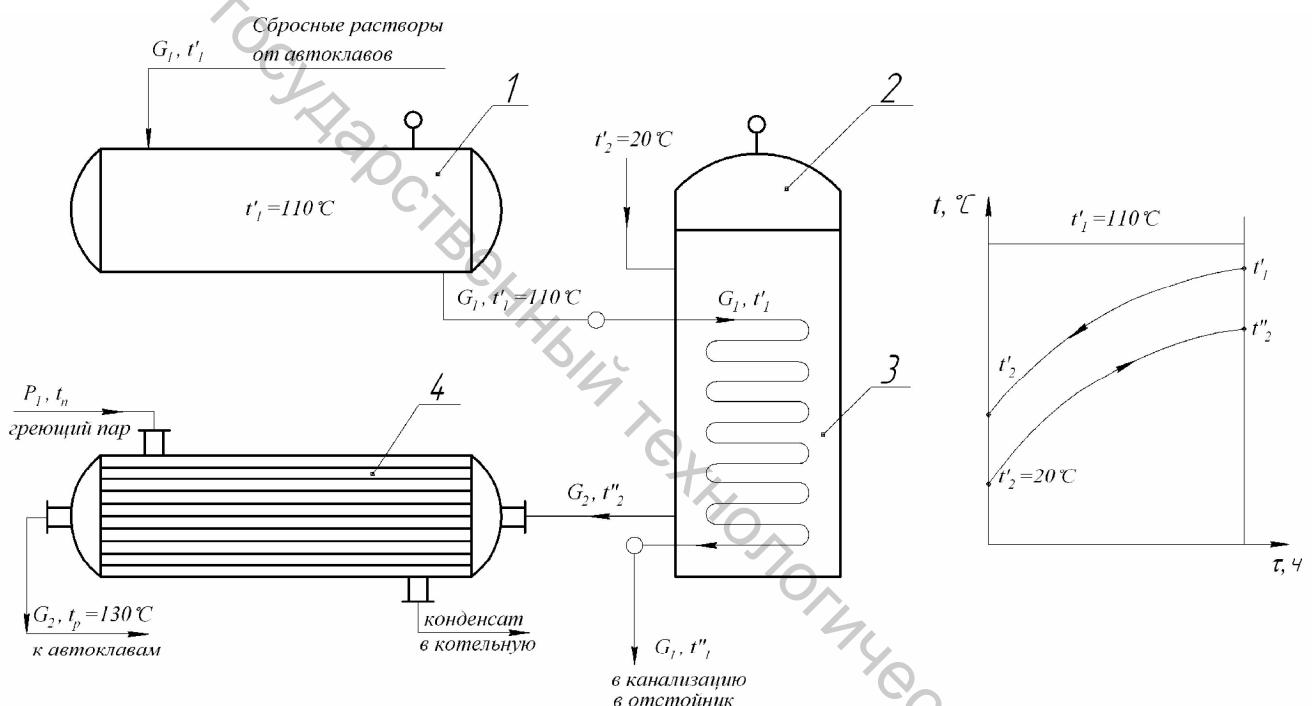
Температуры теплоносителей показаны на рис 6.18.

Конечная температура нагреваемой в аккумуляторе воды  $t''_2$  предварительно принимается  $t''_2 \approx 90^\circ\text{C}$  с последующим уточнением по формуле

$$t''_2 = t'_1 - \frac{t'_1 - t'_2}{\exp \left[ \frac{G'_1 \cdot c_1 \cdot t}{G'_2 \cdot c_2} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\exp \frac{KF}{G'_1 \cdot c_1}} \right] \right]}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $\exp$  – основание натурального логарифма число  $e = 2,72^x$ , где  $x$  есть:

$$x = \left[ \frac{G'_1 \cdot c_1 \cdot t}{G'_2 \cdot c_2} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\exp \frac{KF}{G'_1 \cdot c_1}} \right] \right]$$



1 – бак-накопитель; 2 – бак-аккумулятор; 3 – теплообменник; 4 – пароводяной теплообменник подогрева питательной воды.

Рис. 6.18. Схема использования ВЭР от сбросных растворов для подогрева питательной воды

Удельная производительность водоводяного аккумулятора при конечной температуре нагреваемой питательной воды  $t''_2 \approx 90^\circ\text{C}$

$$KF = 1,11 \cdot 4200 \cdot \ln \frac{1}{1 - \frac{0,555}{1,11 \cdot 5} \cdot \ln \frac{110 - 20}{110 - 90}} = 762, \text{ Вт/град}$$

Конечная температура нагреваемой в аккумуляторе воды

$$t_2'' = 110 - \left[ \frac{110 - 20}{\exp \left[ \frac{1,11 \cdot 5}{0,555} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\exp \frac{762}{1,11 \cdot 4200}} \right] \right]} \right] = 90^{\circ}\text{C}.$$

Конечная температура нагреваемой питательной воды совпадает с ранее принятой для расчета  $t_2'' = 90^{\circ}\text{C}$ .

Конечная температура греющей воды (горячих сбросных растворов) определяется по уравнению

$$t_2'' = \frac{t_1' - t_2''}{KF} + t_2' = \frac{110 - 90}{762} + 20 = 37^{\circ}\text{C}.$$

Теплопроизводительность водоводяного аккумулятора за два залповых выброса растворов за смену

$$Q_{ak.} = 2G_2' \cdot c_2(t_2'' - t_2') = 2 \cdot 0,555 \cdot 4,2 \cdot (90 - 20) = 326,4 \text{ кВт.}$$

Поверхность нагрева погруженного змеевикового теплообменника в аккумуляторе определяется по уравнению

$$F_{ak.} = \frac{KF}{K} = \frac{762}{60} = 25,1 \text{ м}^2 \approx 26 \text{ м}^2.$$

Расход первичного греющего пара в котельной на нагрев воды для пяти красильных автоклавов без утилизации ВЭР от двух залповых выбросов раствора за одну смену

$$D_n = \frac{2 \cdot G_p \cdot c_e \cdot (t_o - t_2')}{(i_n'' - i_k') \cdot h} = \frac{2 \cdot 20000 \cdot 4,2 \cdot (130 - 20)}{(2725 - 562) \cdot 0,9} = 9492 \text{ кг/смену.}$$

Здесь,  $i_n''$  – энталпия греющего пара при давлении пара  $p = 3$  бар ( $i_n'' = 2725$  кДж/кг);  $i_k'$  – энталпия конденсата ( $i_k' = 562$  кДж/кг);  $h$  – КПД котельной, производящей пар ( $h \approx 0,9$ ).

Расход греющего пара при утилизации ВЭР от теплоты сбросных растворов

$$D_n' = \frac{2 \cdot G_p' \cdot c_e \cdot (t_p - t_2')}{(i_n'' - i_k') \cdot h} = \frac{2 \cdot 10000 \cdot 4,2 \cdot (130 - 20)}{(2725 - 562) \cdot 0,9} = 4746 \text{ кг/смену,}$$

где  $G_p' = G_p - G_2 = 20000 - 10000 = 10000$ , кг/цикл – уменьшение подачи воды в красильные автоклавы.

Расход греющего пара на догрев питательной воды до  $130^{\circ}\text{C}$

$$D_n'' = \frac{2 \cdot G_p' \cdot c_e \cdot (t_p - t_2'')}{(i_n'' - i_k') \cdot h} = \frac{2 \cdot 10000 \cdot 4,2 \cdot (130 - 90)}{(2725 - 562) \cdot 0,9} = 1726 \text{ кг/смену.}$$

Сокращение расхода греющего пара от использования теплоты сбросных растворов (ВЭР)

$$\Delta D = D_n - (D'_n + D''_n) = 9492 - (4746 + 1726) = 3020, \text{ кг/смену.}$$

Сокращение расхода греющего пара при годовом фонде времени работы красильных аппаратов  $t = 250$  дней

$$\Delta D_{год} = 250 \cdot \Delta D = 250 \cdot 3020 = 755000, \text{ кг/год.}$$

Экономия условного топлива за счет утилизации ВЭР от залповых выбросов горячих сбросных выбросов в котельной на выработку греющего пара для красильных автоклавов уменьшается на величину

$$\Delta B_{усл.} = \frac{\Delta D_{год} (i''_n - i_{n.b.}) \cdot h_k}{Q_{н.усл.}^p} = \frac{755000(2725 - 500) \cdot 0,9}{29300} = 51600, \text{ кг/год,}$$

где  $i_{n.b.}$  – энталпия питательной воды в котельной  $i_{n.b.} \approx 500$ , (кДж/кг),  $h_k = 0,9$  – КПД котельного агрегата.

Количество тепловой энергии за счет экономии условного топлива составит

$$\sum Q_{год}^{расм.} = \Delta D_{год} (i''_n - i_{n.b.}) \cdot h_k \cdot 10^3 = 755 \cdot 10^3 (2725 - 500) \cdot 0,9 \cdot 10^{-9} = 1679,8, \text{ ГДж.}$$

Или экономия условного топлива составит

$$\Delta B_{усл.} = 0,0342 \cdot \sum Q_{год}^{расм.} \cdot h_k = 0,0342 \cdot 1679,8 \cdot 0,9 = 51,7, \text{ т/год.}$$

При стоимости одной тонны условного топлива  $\Pi = 105$  (у.е.) годовой экономический эффект от утилизации только теплоты сбросных растворов от красильных аппаратов составит

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta B_{усл.} \cdot \Pi = 51,7 \cdot 105 = 5428, \text{ у.е.}$$

При принятой схеме теплоснабжения красильных аппаратов (рис. 6.18) расход греющего пара на подогрев воды для автоклавов при условии утилизации ВЭР от выбросов горячих сбросных растворов составит

$$D_n = D_k = D'_n + D''_n = 4746 + 1726 = 6472, \text{ кг/смену.}$$

Возможная выработка теплоты в утилизационной установке за счет использования теплоты конденсата «глухого» пара за год при фактическом фонде времени установок  $t_{год} = 250$  дней

$$\sum Q_{год}^{кон.} = D_k \cdot c_{вод.} \cdot (t_{к1} - t_{к2}) \cdot h_{ым.} \cdot 10^3 \cdot t_{год}$$

$$\sum Q_{год}^{кон.} = 6472 \cdot 4,2 \cdot (120 - 70) \cdot 0,95 \cdot 10^3 \cdot 250 = 3,2 \cdot 10^{11}, \text{ Дж/год}$$

Или выработка тепла составит

$$\sum Q_{год}^{кон.} = 320, \text{ ГДж/год}$$

Экономия условного топлива при использовании ВЭР от теплоты конденсата

$$\Delta B_{год}^k = 0,0342 \cdot \sum Q_{год}^{кон.} = 0,0342 \cdot 320 = 11,9, \text{ т/год.}$$

Суммарная экономия условного топлива при утилизации обеих видов ВЭР составит

$$\Delta B_{год} = 51,7 + 11,9 = 63,6, \text{ т/год.}$$

Расход топлива для выработки пара в котельной установке для красильных автоклавов без утилизации ВЭР за год

$$\Delta B_{год} = \frac{D_n (i'_1 - i_{n.b.})}{Q_{н.усл.}^p \cdot h_k} \cdot t_{год} = \frac{9492(2725 - 500) \cdot 10^{-3}}{29300 \cdot 0,9} \cdot 250 = 195, \text{ т/год.}$$

Годовая возможная выработка теплоты в утилизационных установках за счет использования теплоты сбросных растворов и теплоты конденсата «глухого» пара при фактическом фонде времени установок.

1) Возможная выработка теплоты за счет утилизации теплоты сбросных растворов

$$O_{e.p.} = 2 \cdot G_p \cdot c_p \cdot (t'_1 - t''_1) \cdot t_\phi \cdot b \cdot 10^{-9}, \text{ ГДж.}$$

$$O_{e.p.} = 2 \cdot 20000 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot (110 - 40) \cdot 0,7 \cdot 250 \cdot 10^{-9} = 2058, \text{ ГДж}$$

2) Возможная выработка теплоты за счет утилизации теплоты конденсата «глухого» пара

$$O_{e.k.} = D_n \cdot c_k \cdot (120 - 70) \cdot t_\phi \cdot b \cdot 10^{-9}, \text{ ГДж.}$$

$$O_{e.k.} = 9492 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot (120 - 70) \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^{-9} = 348,8, \text{ ГДж.}$$

Коэффициент использования выработанной теплоты (коэффициент утилизации ВЭР)

$$S = \frac{Q_\phi}{Q_e} = \frac{1679,8 + 320}{2058 + 348,8} = \frac{1999,8}{2406,8} \approx 0,8$$

**Влажно-тепловая обработка тканей** заключается в воздействии на материал водяного пара или паровоздушной смеси, насыщенной паром при повышенной температуре. Влажно-тепловая обработка ускоряет протекание в материале необходимых физико-химических реакций. К основным видам машин для влажно-тепловой обработки относятся запарные камеры и отделочные каландры.

В рабочую камеру может подаваться острый пар, а в рекуператоры машины «глухой» пар.

### Пример 3.

Исходные данные для расчета.

При влажно-тепловой обработке тканей из запарной камеры на выходе из установки теплота от использования «глухого» пара в калориферах и «острого» пара в рабочей зоне камеры выход ВЭР составляет  $\Delta Q_{ВЭР} = Q_{глух.} + Q_o = 500, \text{ кВт}$ . Действительный фонд времени работы утилизационного оборудования  $t_o = 6000 \text{ ч}$ . Цена 1 тонны условного топлива  $Ц = 95 \text{ у.е.}$  Капиталовложения в утилизационное оборудование  $K = 40000 \text{ у.е.}$  Эксплуа-

тационные расходы  $C_{\text{экс}} = 5000$  у.е.

**Решение:**

Экономия условного топлива за счет утилизации ВЭР

$$DB_{\text{усл.}} = \frac{DQ_{\text{ВЭР}}}{Q_{\text{н.усл.}}^P} = \frac{500}{29300} = 0,017, (\text{кг/с})$$

Годовая стоимость сэкономленного топлива

$$\mathcal{E}_{\text{тон.}}^{\text{усл.}} = 3600 \cdot DB_{\text{усл.}} \cdot t_o \cdot \mathcal{Q} = 3600 \cdot 0,017 \cdot 6000 \cdot 10^{-3} \cdot 95 = 34884, (\text{у.е.}).$$

Удельная стоимость энергии, выработанной в утилизационной установке

$$\mathcal{E}_{\text{уд.}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{тон.}}^{\text{усл.}}}{DQ_{\text{ВЭР}}^{\text{год}}} \frac{34884}{108 \cdot 10^8} = 0,323 \cdot 10^{-5}, (\text{у.е./кДж}), \quad (6.28)$$

где  $DQ_{\text{ВЭР}}^{\text{год}} = DQ \cdot 3600 t_o = 500 \cdot 3600 \cdot 6000 = 108 \cdot 10^8$ , (кДж/год)

Стоимость сэкономленной энергии

$$\Delta \mathcal{E} = 3600 DQ_{\text{ВЭР}} \cdot t_o \cdot \mathcal{E}_{\text{уд.}} = 3600 \cdot 6000 \cdot 0,3238 \cdot 10^{-5} = 34884, (\text{у.е.}) \quad (6.29)$$

Экономический эффект от использования ВЭР

$$\mathcal{E}_{\text{ym}} = D\mathcal{E} - E_h \cdot K = 34884 - 0,15 \cdot 40000 = 28884, (\text{у.е.}). \quad (6.30)$$

Срок окупаемости капиталовложений в утилизацию ВЭР

$$T = \frac{K}{D\mathcal{E} - C_{\text{экс}}} = \frac{40000}{34884 - 5000} = 1,34, (\text{года}). \quad (6.31)$$

Использование ВЭР является целесообразным, так как величина ( $\mathcal{E}_{\text{ym}} > 0$ ) положительна и капиталовложения окупаются за достаточно короткий период.

Анализ основных теплотехнологических процессов и упрощенные расчеты утилизации основных тепловых ВЭР текстильной промышленности убеждают в значительных потенциальных возможностях и энергетической эффективности использования тепловых ВЭР, особенно от разнообразных сушильных аппаратов и красильного оборудования при обработке материалов в жидкости, когда на обработку 1 кг пряжи или ткани приходится расходовать 20-30 л горячей воды или несколько кг греющего пара с температурой от 90 до 140°C.

Однако из-за возникающих трудностей при утилизации тепловых ВЭР паровоздушная смесь и горячие сбросные растворы как виды ВЭР используются незначительно и крайне редко, так как требуются большие капитальные и эксплуатационные расходы.

К существенным недостаткам использования данных видов ВЭР относятся высокая химическая активность растворов и очень часто паровоздушной

смеси, вызывающая коррозию металлов, загрязненность, требующая фильтрации потоков и периодической очистки поверхностей теплообмена, использования громоздких теплообменников, необходимость установки баков накопителей для растворов.

Особую трудность представляет необходимость в концентрации тепловых потоков от теплотехнологического оборудования, так как часто отсутствует компактное размещение теплотехнологического оборудования.

Значительным препятствием в использовании ВЭР сбросных растворов является необходимость в разделении сливных каналов, так как все технологические операции крашения, отварка, промывка и др. протекают в технологической линии одновременно и смешение горячих и холодных потоков ликвидирует сам источник ВЭР.

Все перечисленные трудности объясняют причину неудовлетворительного использования или полного отсутствия утилизации ВЭР в текстильной промышленности.

Тем не менее, утилизация тепловых ВЭР в настоящее время необходимо, так как объемы выхода ВЭР значительны и их использование может дать до 20-30% экономии ТЭР и при этом существенно уменьшить тепловое загрязнение окружающей среды.

Реализация задач по энергосбережению зависит не только от технологического и экономического потенциала энергосбережения, которые определяют максимальные технические и экономические возможности энергосбережения, но и существенно определяется поведенческим потенциалом энергосбережения – осознанием необходимости и актуальности проблемы энергосбережения, особенно руководителями предприятий, реализующих решения по энергосбережению.

Решение задач по энергосбережению в сфере поведенческого потенциала изложено достаточно полно в главах 6, 7, 8, 9 литературы [1].

## **6.5. Некоторые примеры экономии тепловой энергии за счет использования ВЭР**

***Использование низкопотенциальной тепловой энергии отопительно-вентиляционным агрегатом.*** Предусмотрено использование тепловой энергии охлаждающей воды с температурой 28...35 °С от технологического оборудования для подогрева в специальном агрегате наружного воздуха, поступающего в приточные камеры отопительно-вентиляционных систем.

Отопительно-вентиляционный агрегат (рис. 6.19) состоит из калорифера 1, насадочной контактной камеры, разделенной на ступени промежуточного 2 и предварительно 3 нагрева, водораспределителя 5, установленного между ступенями 2 и 3. Агрегат имеет систему защиты от обмерзания, состоящую из обогреваемой опорной решетки 6, насадки ступени 3, греющей рубашки 7 нижней части ступени 3, каплеуловителя 8, поддона 9, вентилятора с электродвигателем 10, промежуточного поверхностного теплообменника 11, циркуляционного на-

соса 12 с регулировочным клапаном 13 для подачи воды в градирню.

Отопительно-вентиляционный агрегат работает следующим образом.

Наружный воздух с отрицательной температурой подается вентилятором 10 под насадку ступени 3 предварительного нагрева. В насадке воздух контактирует с водой, подаваемой через дополнительный водораспределитель 5, и водой, стекающей с насадки 2 промежуточного нагрева. Нагревание и увлажнение происходят в насадке ступени 2 промежуточного нагрева при контактировании с водой, подаваемой через водораспределитель 4. После прохождения через каплеуловитель 8 воздух подогревается до требуемой температуры в калорифере 1 и подается в систему приточной вентиляции.

Нагретая охлаждающая вода, поступающая из производственных цехов от охлаждения оборудования, разделяется на два потока: первый поступает в водораспределитель 5, и отдавая тепло холодному воздуху в насадке 3, стекает в поддон 9, а второй - направляется в теплообменник 11, где подогревается обратной водой и направляется в водораспределитель 4.

Вода из поддона насосом 12 направляется по обратному трубопроводу в градирню.

Высокотемпературный теплоноситель из подающей магистрали системы теплоснабжения последовательно проходит калорифер 1 и промежуточный поверхностный теплообменник 11 циркуляционного контура агрегата и при 20...30 °C поступает в об-

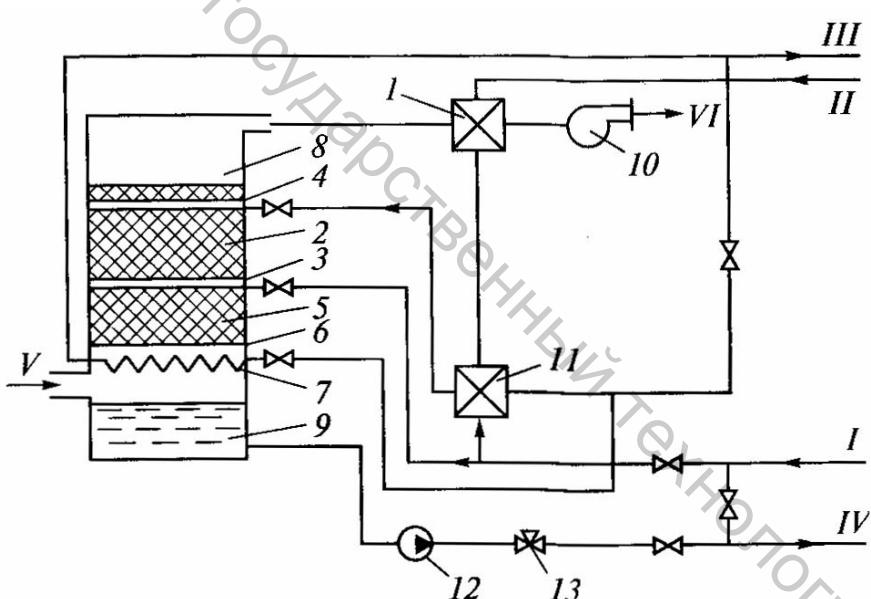


Рис. 6.19. Принципиальная схема отопительно-вентиляционного агрегата:

1- калорифер; 2 - ступень промежуточного нагрева; 3 - ступень предварительного нагрева; 4 - водораспределитель; 5 – дополнительный водораспределитель; 6 - опорная решетка; 7 - греющая рубашка; 8 - каплеуловитель; 9 - поддон; 10 - вентилятор с электродвигателем; 11- теплообменник; 12 - насос; 13 - клапан; I - линия обратной воды от оборудования; II- линии высокотемпературного теплоносителя (горячая вода из теплосети); III - линия обратной воды в теплосеть; IV- линия воды на градирню; V - линия холодного воздуха; VI - линия нагретого воздуха.

ратную магистраль системы теплоснабжения.

Годовая экономия от его использования составляет 14 тыс. ГДж тепловой и 66 тыс. кВт•ч электрической энергии. Срок окупаемости затрат – 2 года. Применяется на предприятиях машиностроения и других отраслей промышленности.

**Использование теплоты уходящих газов в производственной котель-**

**ной.** Теплоснабжение одного из цехов ПО Моспроммеханизация осуществляется от котельной, в которой установлены три паровых котла МЗК-7 производительностью 1 т/ч каждый. Котлы оснащены горелочными устройствами для работы на природном газе низкого давления (резервное топливо – мазут). Конструкция котлов предусматривает их работу под наддувом, осуществляемым индивидуальными дутьевыми вентиляторами. Удаление продуктов сгорания из котлов производится за счет давления наддува через индивидуальные металлические дымовые трубы.

С целью использования тепловой энергии уходящих газов для нужд горячего водоснабжения и нагрева воды для котельной была спроектирована и смонтирована за одним из котлов теплоутилизационная установка с контактным экономайзером (см. рис. 6.20), расположенным над котлом на отметке 3 м. Для подачи газов через экономайзер на выходе их установлен отсасывающий вентилятор Ц13-50 № 3 ( $n=1440$  об/мин). Предусмотрена возможность работы котла как с утилизационной установкой, так и без нее (с помощью переключающих заслонок). При отключенном экономайзере заслонка 3 закрыта, а заслонка 2 открыта. При подключении экономайзера заслонка 2 закрывается, открывается заслонка 3, включается отсасывающий вентилятор 5, и газы из котла 1 направляются в экономайзер 4.

Установка работает следующим образом. Уходящие газы из котла 1 поступают в нижнюю зону экономайзера 4, проходят через слой насадки и выбрасываются в дымовую трубу.

Подлежащая нагреву вода из

оросителя струями подается на слой насадки, стекает в поддон, из которого по переточной трубе сливаются в промежуточный бак 6, оттуда циркуляционным насосом 7 направляется в водо-водянной

водо-водянной

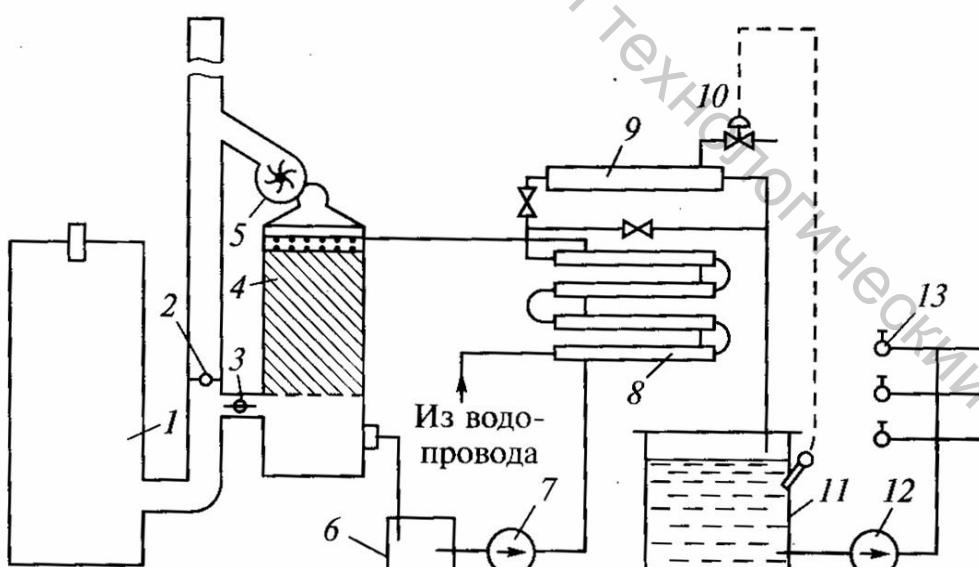


Рис. 6.20. Теплоутилизационная установка с контактным экономайзером:

1- котел; 2, 3 -заслонки; 4 - экономайзер; 5 - вентилятор; 6-бак; 7- насос; 8 – теплообменник; 9 - пароводяной бойлер; 10 - регулирующий клапан; 11 - бак горячей воды; 12 - насос; 13 - душевые теплообменник 8, затем охлажденная вода через ороситель поступает в экономайзер. Холодная вода из водопровода направляется в теплообменник 8, нагревается в нем и сливается в бак горячей воды 11. Отсюда нагретая вода насосом

12 направляется в душевые 13.

Испытания показали, что при использовании контактного экономайзера КПД МЗК-7 увеличился с 82 до 93 % (по высшей теплоте сгорания топлива). Наряду с этим был выявлен и существенный недостаток установки. При эксплуатации наблюдались крайне низкие скорости движения нагреваемой воды в трубках (0,05...0,09 м/с) и особенно греющей воды в межтрубном пространстве (0,01...0,014 м/с).

В связи с указанным недостатком теплоутилизационная установка была оборудована секционными водо-водяными теплообменниками с требуемыми характеристиками: диаметр трубок секций 57/50 мм, длина -4 м, площадь поверхности нагрева секций -0,75 м<sup>2</sup>, число секций - 7.

Согласно новой схеме предусмотрен двухступенчатый нагрев водопроводной воды в водо-водяных теплообменниках 8 и пароводяном бойлере 9.

При испытании модернизированной схемы было установлено, что в водо-водяных теплообменниках водопроводная вода в количестве 2,4 м<sup>3</sup>/ч нагревалась до 44...45 °C, КПД установки составил 95 % (по высшей теплоте сгорания топлива). Догрев воды до более высокой температуры (50...60 °C) должен производиться в пароводяном бойлере. Изменение подачи пара на бойлер производится регулирующим клапаном 10 по импульльному сигналу о температуре воды в баке-аккумуляторе. Для производственных душевых нормативная температура воды составляет 37 °C, т. е. достаточен нагрев воды только в водо-водяных теплообменниках. Если же требуется более горячая вода, то после водо-водяных теплообменников ее следует догревать в пароводяном бойлере. Так, в случае нагрева воды до 50°C на пар приходится небольшая часть полезной теплопроизводительности.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое энергетические отходы? Назовите их типы и виды.
2. Что такое ВЭР? Приведите классификацию ВЭР.
3. Какие существуют основные виды теплотехнологических установок текстильной промышленности?
4. Чем обусловлено многообразие теплотехнологических процессов обработки материалов в жидкости?
5. Как рассчитать общий и возможный выход ВЭР?
6. Как оценить экономию топлива за счет использования тепловых или горючих ВЭР?
7. Какие источники и виды тепловых ВЭР имеются в промышленности Республики Беларусь?
8. Какую роль играют теплообменные аппараты в энергосбережении?
9. Назовите основные типы теплообменных аппаратов для утилизации теплоты низкотемпературных и высокотемпературных ВЭР?
10. Назовите основные тепловые ВЭР текстильной промышленности.

*11. Объясните принцип работы компрессионного теплового насоса и тепловой трубы.*

*12. Приведите примеры использования тепловых ВЭР.*

*13. Назовите основные схемы использования конденсата пара.*

*14. Какие виды теплообменников используются в системах утилизации ВЭР?*

*15. Назовите основные трудности при утилизации теплоты сбросных растворов и паровоздушной смеси.*

*16. Какие факторы влияют на выбор типа теплообменного аппарата для утилизации ВЭР?*

*17. Назовите основные теплотехнические установки – источники теплоты сбросных растворов и паровоздушной смеси.*

*18. Назовите основные преимущества и недостатки обогрева жидкости «глухим» и «острым» паром.*

*19. Назовите основные преимущества и недостатки смесительных теплообменных аппаратов. Какова область их применения?*

*20. Назовите основные преимущества и недостатки регенеративных теплообменных аппаратов.*

## **7. ЦЕНОВОЕ И ТАРИФНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ. НОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ. ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

### **7.1. Виды системы тарифов на электроэнергию**

Основными видами системы тарифов на электроэнергию являются:

- одноставочный тариф по счётчику электроэнергии;
- двухстavочный тариф с основной ставкой за мощность присоединённых электроприёмников;
- двухстavочный тариф с оплатой максимальной нагрузки;
- двухстavочный тариф с основной ставкой за мощность потребителя, участвующую в максимуме энергосистемы;

**Одноставочный тариф по счетчику электроэнергии** предусматривает плату только за электроэнергию в киловатт-часах, учтеннную счётчиком. Этот вид тарифа широко используется при расчетах с населением и другими непромышленными потребителями. Потребитель, не использующий энергию в рассматриваемый отчётный период, не несет расходов, связанных с издержками энергоснабжающих организаций, которые обеспечивают подачу электроэнергии в любой момент времени. По этому тарифу стоимость 1 кВт•ч при любом количестве потреблённой энергии остаётся постоянной. Однако затраты на 1 кВт•ч при увеличении производства (потребления) энергии уменьшаются и, следовательно, должна снижаться тарифная ставка на потребляемый киловатт-час. Это учитывается введением ступенчатого тарифа по счётчику.

По одноставочному тарифу на электроэнергию с платой за отпущенное количество энергии с потребителя взимается плата за потреблённую электроэнер-

гию, учтеннюю счётыками, по некоторой усреднённой стоимости для электроэнергетической системы (ЭЭС). Поскольку перспективные годовые потребления электроэнергии прогнозируются достаточно точно, то суммарная плата за пользование электроэнергией покрывает все расходы ЭЭС и обеспечивает плавные накопления.

Одноставочный тариф стимулирует потребителя сокращать непроизводительный расход электроэнергии, создавать наиболее рациональные системы электроснабжения и режимы работы энергоприёмников, так как это позволяет снизить издержки данного предприятия. Однако отсутствие дифференциации стоимости электроэнергии по времени суток не стимулирует потребителя снижать нагрузку в часы максимума и повышать в часыочных провалов, т. е. не способствует выравниванию графика нагрузки ЭЭС, а следовательно, и снижению затрат на производство электроэнергии.

**Двухставочный тариф с основной ставкой за мощность присоединённых электроприёмников** предусматривает плату ( $\Pi$ ) за суммарную мощность присоединённых электроприёмников ( $P_n$ ) и плату за потреблённую электроэнергию ( $W$ ), кВт•ч, учтённую счётыками:

$$\Pi = a P_n + b W,$$

где  $a$  - плата за 1 кВт (или кВ•А) присоединённой мощности;  $b$  - плата за 1 кВт•ч потреблённой электроэнергии.

Необходимость действия такого тарифа обусловлена тем, что установленная мощность современных крупных промышленных предприятий составляет сотни и тысячи мегавольт-ампер. Затраты на электрооборудование и на систему электроснабжения в ряде случаев превышают 50 % стоимости предприятия. На сооружение систем электроснабжения расходуется значительное количество кабельной продукции и оборудования.

Общая установленная мощность электрооборудования в отраслях промышленности превышает установленную мощность электростанций и с каждым годом возрастает. Это определяется широкой электрификацией технологических процессов, использованием индивидуальных электроприводов и электроаппаратов. Для рационализации систем электроснабжения и снижения потерь энергии в них принимается децентрализация распределения, трансформации, преобразования и коммутации электроэнергии, которая осуществляется применением глубоких вводов питающих линий, позволяющих трансформировать и преобразовывать энергию на рабочее напряжение непосредственно у электроприёмника. При этом сокращаются ступени трансформации. Разукрупнение подстанций уменьшает токи, что, в свою очередь, приводит к снижению потерь энергии. Однако децентрализация трансформации, как правило, приводит к возрастанию суммарной мощности трансформаторов, установленных на подстанциях глубоких вводов, по сравнению с мощностью трансформаторов, необходимой при централизованной трансформации.

**Двухставочный тариф с оплатой максимальной нагрузки** предусматривает плату как за максимальную нагрузку ( $P_{max}$ , кВт) потребителя (основная

ставка), так и за потреблённую электроэнергию (W, кВт•ч), учтённую счётчиками;

$$P = a P_{max} + b W,$$

где  $a$  - плата за 1 кВт максимальной мощности;

$b$  - плата за 1 кВт • ч электроэнергии.

Для объяснения смысла основной ставки тарифа рассмотрим рис. 7.1, на котором даны суточные графики нагрузки энергосистемы (1) и питающихся от нее крупных потребителей (2,3,4). Точка  $P_m$  (кВт) определяет максимум нагрузки ЭЭС, а точки  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  – мощности соответствующих потребителей, участвующих в максимуме, за которые взимается плата по основной ставке.

Двухставочный тариф с основной ставкой за мощность потребителя, участвующую в максимуме энергосистемы, учитывает не вообще максимальную мощность потребителя, а заявленную им единовременную мощность, участвующую в максимуме ЭЭС –  $P_{max}$ .

Рассмотренный тариф может предусматривать дифференцирование дополнительной платы со сниженной ставкой за энергию, потреблённую в часы минимальных нагрузок ЭЭС (обычно в часы ночного провала графика). В этом случае плата за электроэнергию

$$P = a P_{max} + (W - W_{min}) b_2 + W_{min} b_1,$$

где  $W$  - общее потребление энергии;  $W_{min}$  - энергия, потребленная в часы минимальных нагрузок ЭЭС;  $b_1$  - дополнительная плата за энергию, потреблённую в часы минимальных нагрузок;  $b_2 > b_1$ , – дополнительная плата за энергию, потреблённую в течение других часов суток.

При таком тарифе потребитель свободен в выборе наиболее рациональной

схемы электроснабжения предприятия, заинтересован снижать мощность, участвующую в максимуме ЭЭС (поскольку соответственно снижаются его затраты), и стремится сокращать непроизводительный расход электроэнергии. Уменьшение максимума нагрузки и смещение потребления в другую часть графика выравнивают график и, следовательно, снижают стоимость вырабатываемой электроэнергии.

**Существует дифференциация тарифов на электроэнергию для городского и сельского населения.** Так, тарифы на электрическую энергию для городского населения, проживающего в домах, оборудованных электроплитами, ниже по сравнению с тарифом для всего городского населения. Для сельского на-

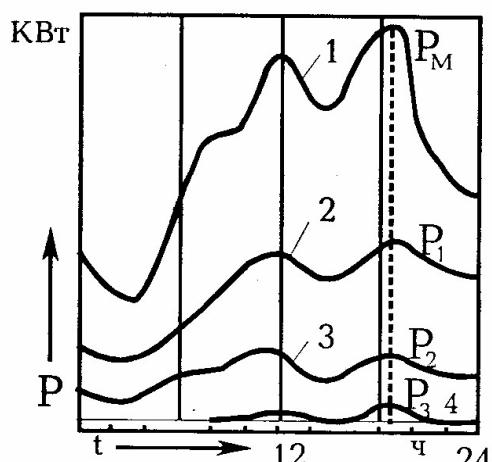


Рис. 7.1. Суточные графики нагрузки энергосистемы и ее потребителей

селения тариф дифференцирован в зависимости от места проживания: в городских населённых пунктах он несколько выше, чем в сельских населённых пунктах. Для всех других потребителей он одинаков.

## **7.2. Тарифы на природный газ и тепловую энергию**

**Тариф на природный газ**, отпускаемый населению, проживающему в жилых домах, где имеются квартирные газовые счётчики, установлен за 1 м<sup>3</sup> потребляемого газа. При этом он ниже в отопительный сезон (при наличии газового отопления) и выше в летний период. При отсутствии газового отопления размер его такой же, как и в летний период. В жилых домах, где квартирные газовые счётчики не установлены, тариф взимается с 1 проживающего в месяц. При этом он дифференцирован в зависимости от наличия в квартире газовой плиты и:

- централизованного горячего водоснабжения;
- газового водонагревателя (при отсутствии централизованного горячего водоснабжения);
- отсутствия централизованного горячего водоснабжения и газового водонагревателя.

Отпуск газа населению для отопления нежилых помещений (теплиц, мастерских по ремонту техники, гаражей, для различного рода производственных и сельскохозяйственных работ, спортивных занятий и т. п.) производится по ценам, установленным для промышленных потребителей. При этом при наличии отдельного счётчика газа в этих помещениях расчёт производится по показаниям счётчика, при отсутствии счётчика - по утверждённым нормам расхода газа на 1 кв. м отапливаемой площади.

Отпуск газа сжиженного для бытовых нужд в баллонах весом 21 кг (50 л) сверх установленных норм производится по ценам, формируемым предприятиями газового хозяйства, в соответствии с действующими нормативными документами по ценообразованию без начисления прибыли.

Розничные цены на твердое топливо устанавливают исполкомы областных и Минского городского Советов депутатов.

**Тепловая энергия** в Республике Беларусь продаётся по одноставочному тарифу. Тариф дифференцируется по энергосистемам и параметрам отпускаемой тепловой энергии (отборный, острый и редуцированный пар). При понижении параметров отпускаемой тепловой энергии уменьшается её потребительская ценность. Это ведёт к снижению тарифа.

Стоимость тепловой энергии в паре и горячей воде определяется тарифами за 1 Гкал согласно паспортным параметрам котлов или отборов турбин на коллекторе ТЭЦ (котельной). При этом количество тепловой энергии в паре, поступающем потребителю, определяется как произведение весового количества пара на его теплосодержание, обусловленное договором при установленных параметрах пара, и учитывается на границе раздела тепловых сетей энергоснабжающей организации и потребителя. Граница раздела определяется по балансовой принадлежности тепловых сетей.

На тепловую энергию тарифы устанавливаются с учётом возврата конденсата. За невозвращённый конденсат потребитель должен платить дополнительно (на 10-20 % больше). Стимулирование потребителей к возврату конденсата является одним из путей решения задач энергосбережения.

### **7.3. О нормировании энергопотребления**

Необходимым прямым и косвенным инструментом государственной политики энергосбережения является механизм нормирования расхода топлива и энергии для технологических процессов, установок, оборудования, продукции, электробытовых приборов, а также стандартизации энергопотребляющих продукции, работ и услуг. В Национальной системе сертификации Республики Беларусь обеспечивается контроль соответствия энергопотребляющей продукции, в том числе энергосберегающей, работ и услуг, а также топливно-энергетических ресурсов требованиям эффективного энергопотребления, установленным нормативными актами.

Разработка норм расхода топлива и энергии осуществляется субъектами хозяйствования независимо от 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. Утверждаются нормы для предприятий, учреждений и организаций соответствующими республиканскими органами государственного управления, объединениями, подчиненными правительству Республики Беларусь, местными исполнительными и распорядительными органами.

*Для субъектов хозяйствования с суммарным годовым потреблением в объеме 1 тыс. т. у. т. и более и для котельных производительностью 0,5 Гкал в час и выше нормы согласовываются с Госкомэнергосбережением. Для иных субъектов хозяйствования нормы расхода топлива и энергии утверждаются Госкомэнергосбережением. Пересмотр норм производится ежегодно.*

Рассмотрим наиболее существенные моменты «Положения по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве Республики Беларусь».

Согласно этому документу, *норма расхода топливно-энергетических ресурсов – это мера потребления этих ресурсов на единицу продукции (работы, услуги) определенного качества в планируемых условиях производства.*

Фактический удельный расход – это количество энергии, фактически потребленное объектом на производство единицы продукции или работы в реальных условиях производства.

Нормирование расхода топлива и энергии осуществляется раздельно по котельно-печному топливу, тепловой и электрической энергии на всех уровнях планирования и хозяйственной деятельности: предприятие, министерство (ведомство), народное хозяйство.

Для комплексной оценки эффективности использования ТЭР наряду с нормами расхода топлива и энергии применяются *прямые обобщенные удельные энергозатраты*. Обобщение затрат всех видов ТЭР может производиться в первичную энергию и в произведенную работу. Прямые обобщенные энергозатраты определяются на основе расходов топлива прямого использования, тепловой и электрической энергии и соответствующих эквивалентов энергоресурсов. Энергетические эквиваленты численно характеризуют первичную энерго-

ёмкость и экономическую работоспособность энергоресурсов: первичная энергоёмкость используется для расчета первичной энергии, экономическая работоспособность – для расчета произведенной работы.

В таблице 7.1 дана классификация норм расхода топлива, тепловой и электрической энергии. Нормы расхода топлива, тепловой и электрической энергии включают перечень статей их расхода, учитываемых в нормах на производство продукции (работы). Состав норм расхода устанавливается ведомственными (отраслевыми) инструкциями, на основе которых на каждом предприятии определяется конкретный состав норм расхода. Коммунально-бытовое и другое не-производственное потребление ТЭР не нормируется.

Таблица 7.1

**Классификация норм расхода топлива, тепловой и электрической энергии**

Признак классификации	Виды расходов топлива, тепловой, электрической энергии	Определение	Составляющие
Степень агрегации объектов нормирования	Индивидуальные, включая отраслевые для средних по отрасли условиям производства данного вида продукции  Групповые	Расходы на производство продукции (работы) по однотипным технологическим объектам, агрегатам, установкам, машинам применительно к планируемым условиям производства продукции (работы)  Расходы на производство всего объема одноименной продукции (работы) по хозяйственным объектам разных уровней планирования: предприятие, отрасль и др.	Расход на технологические процессы + расход на вспомогательные нужды производства + потери в сетях и аппаратах
Состав расходов	Технологические  Общепроизводственные:  <b>I</b> – общезаводские расходы на технологические цели и в цехах на вспомогательные процессы, санитарно-технические нужды, освещение, регламентированные потери энергии в цехе  <b>II</b> – общезаводские состоят из общезаводской нормы, общезаводских расходов, нормативных потерь в заводских сетях, преобразовательных установках  <b>III</b> – производственного объединения – из общезаводских, затрат во вспомогательных службах, объединения, потерь на его функционирование	Расходы на основные и вспомогательные технологические процессы производства данного вида продукции (работы), расход на поддержание технологических агрегатов в горячем резерве, на их разогрев и пуск после текущих ремонтов и холодных простоев, неизбежные технически обоснованные потери энергии при работе оборудования технологических агрегатов и установок  Расходы тепловой, электрической энергии на основные и вспомогательные технологические процессы, на вспомогательные нужды производства, а также технически неизбежные потери энергии в преобразователях, в тепловых и электрических сетях предприятия, отнесенные на производство данной продукции (работы)	Теоретический расход на энергетическое воздействие на обрабатываемый материал, определяемое физико-энергетическими процессами, и осуществление главной цели технологического процесса+ сопутствующий расход на создание условий+ потери передачи и трансформации энергии в технологических установках: при сгорании топлива, теплопередача в теплообменниках, электромеханические потери в двигателях
Период действия	Текущие (квартальные, годовые)  Перспективные	Расходы для планирования, контроля за фактическим расходованием ТЭР  Расходы для перспективного планирования, прогнозирования потребности в ТЭР	

Для разработки норм расхода ТЭР могут применяться следующие методы:

- **расчетно-аналитический**. Предусматривает определение норм расхода расчетным путем по статьям расхода на основе прогрессивных показателей использования ТЭР в производстве или путем математического описания законо-мерности протекания процесса на основе учета нормообразующих факторов;
- **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);
- **опытный** (заключается в определении удельных затрат ТЭР по данным, полученным в результате испытаний (эксперимента)).

Рекомендуется разумное сочетание названных методов, что позволяет снизить трудоемкость и повысить достоверность энергетического нормирования. Для предприятий, не выпускающих продукции (работу, услуги), предусмотрено согласование предельных уровней потребления ТЭР.

«Положение по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве Республики Беларусь» устанавливает также порядок разработки мероприятий по энергосбережению, в частности плана организационно-технических мероприятий (ОТМ) по экономии ТЭР, который является важным направлением формирования нормативной базы планирования расхода ТЭР в производстве.

Работа по энергосбережению должна быть направлена на то, чтобы прирост потребности предприятия в ТЭР удовлетворялся в основном за счет экономии. Основными показателями эффективности использования ТЭР в результате внедрения мероприятий по энергосбережению являются абсолютная и относительная их экономия.

На предприятиях должен быть организован коммерческий и внутрипроизводственный учет расхода ТЭР с помощью приборов, установленных в соответствии с правилами технической эксплуатации.

В состав технико-экономической части проектов новых и реконструированных производств включаются показатели удельного расхода топлива, тепловой и электрической энергии, а также обобщенные энергозатраты на производство продукции (работы), соответствующие лучшим отечественным и мировым достижениям. В стандартах на машины и оборудование, наряду с другими качественными характеристиками, указываются показатели расхода ТЭР на единицу продукции (работы), а также другие энергоэкономические показатели.

Соответствие производимого бытового оборудования требованиям, установленным нормативными документами по стандартизации в части показателей энергоэффективности, подтверждается маркировкой оборудования.

Государственный метрологический надзор за средствами и методами измерений, работы по стандартизации и сертификации в сфере энергосбережения организует и проводит республиканский орган Государственного управления

по стандартизации, метрологии и сертификации.

#### 7.4. Потенциал энергосбережения

Для стран, подобных Беларуси, не имеющих достаточно собственных энергоресурсов, энергосбережение следует считать крупным потенциальным источником энергии.

Чтобы выявить источники энергосбережения и дать их количественную оценку, нужно сделать анализ приходной (источников топливно-энергетических ресурсов) и расходной (структуры энергопотребления) частей топливно-энергетического баланса организации, а также способов преобразования, передачи и распределения энергии. Для выявления источников энергосбережения в масштабе государства необходимо исследовать и проанализировать структуру ТЭР, технологии их передачи, распределениями потребления по отраслям национальной экономики.

Выявленные в результате этого анализа источники энергосбережения служат в качестве исходных данных для определения **энергосберегающих потенциалов**, которые, в свою очередь, служат исходными данными для определения параметров так называемых энергосберегающих эквивалентов.

Рассмотрим понятия энергосберегающих потенциалов и энергосберегающих эквивалентов.

**Потенциал энергосбережения** (энергосберегающий потенциал) - это возможное снижение энергопотребления при выпуске одного и того же объема продукции и при обеспечении неизменных условий жизни населения за счет массового использования технически уже освоенных образцов энергосберегающей техники и технологии .

В общем виде его можно определить следующей формулой:

$$\Pi = V - V^*, \quad (7.1)$$

где  $\Pi$  - общий потенциал энергосбережения;  $V$  - гипотетический объем энергопотребления, необходимый для реализации поставленных целей социально-экономического развития на традиционной технологической основе;  $V^*$  - то же при условии максимально возможного, с учетом сроков жизни оборудования, внедрения новых технологий в виде энергосберегающих мероприятий.

**Различают четыре вида энергосберегающих потенциалов: технический, экономический, экологический и поведенческий.**

**Технический потенциал энергосбережения** определяет максимальные технические возможности энергосбережения, которые могут быть реализованы за фиксированный период времени, и зависит от темпов и достижений научно-технического прогресса. Для объективной оценки его величины весьма полезным представляется использование типовых матриц энергосберегающих мероприятий и технологий (ЭСМТ).

Матрицы ЭСМТ – один из важных и удобных инструментов специалиста, осуществляющего энергетический менеджмент. Они ориентированы на универ-

сализацию и автоматизацию его функций в составе интегрированной автоматизированной системы управления энергосбережением. По публикациям можно ознакомиться с матрицами ЭСМТ подробнее. Далее в главе 9 им будет уделено особое внимание в свете использования при выполнении энергоаудитов.

**Экономический потенциал энергосбережения** определяется только рентабельной частью технического потенциала, освоение которой зависит от наличия инвестиций. Таким образом, величина экономического потенциала меньше технического и ограничивается жесткостью требований, предъявляемых к окупаемости капиталовложений в энергосбережение.

Для каждого мероприятия или технологии матриц ЭСМТ можно оценить возможности реализации и затраты при проведении активной энергосберегающей политики, установить экономическую целесообразность отдельных энергосберегающих мероприятий и их приоритеты. Это функция энергетического менеджера. Оценка ЭСМТ, их ранжирование позволяют найти величину экономического энергосберегающего потенциала и тенденции его роста.

При анализе технического и экономического потенциалов учитываются повышение уровня надежности энергоснабжения и увеличение прибылей за счет снижения ущерба от его перерывов благодаря реализации ЭСМТ.

**Экологический потенциал энергосбережения** определяется максимально возможным снижением экологического ущерба, наносимого выбросами вредных веществ ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_0\text{x}$ ,  $\text{SO}_2$  и др.), излучениями и т. п. объектов, а также занимаемой ими территории благодаря выполнению энергосберегающих мероприятий. Ущерб может быть выражен в денежной форме в виде дополнительных затрат на очистительные устройства, здравоохранение, возмещение ущерба от недовыпуска продукции заболевшими членами общества, потери урожайности, стоимости земли, ущерба от коррозии сооружений и оборудования, ухудшения биологических элементов природы.

**Поведенческий потенциал энергосбережения** определяется мерой осознания актуальности проблемы энергосбережения всеми лицами, принимающими и реализующими решения о ЭСМТ - от деятелей межгосударственных организаций до отдельных домовладельцев, а также согласованностью их действий.

Задача оценки энергосберегающих потенциалов имеет многоуровневый итеративный характер, основывается на использовании прогнозов развития региона, статистических данных учета и контроля энергопотребления и относится к классу задач с неопределенной информацией. Это важнейшая задача энергетического менеджмента, принципы ее решения даны в [1].

Для учета потенциалов энергосбережения при планировании развития экономики и управлении ею, и прежде всего топливно-энергетическим комплексом, в известные, используемые сегодня математические модели оптимизации для рассматриваемых объектов (отрасль, предприятие и т. д.) вводятся энергосберегающие эквиваленты.

Энергосберегающими эквивалентами топливной базы, транспорта, электрической станции, электрических сетей и т. п. называются расчетные эквиваленты энергосберегающих мероприятий и технологий, благодаря которым

*удается избежать строительства реальных одноименных объектов с определенными энергетическими, экологическими и социально-экономическими эквивалентными параметрами.*

Использование таких эквивалентов позволяет учесть следующие моменты:

- возможности энергосбережения во всей цепи – от добычи ПЭР до конечного потребления и утилизации отходов,
- территориальные распределение и значимость энергосберегающего потенциала, экономические затраты на энергосбережение, факторы надежности и времени в части изменения потенциала энергосбережения,
- условия реализации энергосберегающих мероприятий, в том числе, соотношение государственного и частного секторов в экономике, психологическую подготовленность и настроенность обслуживающего персонала и населения, отношение местных властей и т. д.

Итак, технология учета энергосбережения в задачах планирования развития и управления ТЭК может быть представлена последовательностью следующих процедур:

1. Выявление источников энергосбережения.
2. Оценка энергосберегающих потенциалов.
3. Выбор энергосберегающих эквивалентов и расчет их параметров.
4. Ввод энергосберегающих эквивалентов и их параметров в математические модели и алгоритмы оптимизации энергетических систем.

Параметры энергосберегающих эквивалентов делятся на три группы: энергетические, эколого-экономические, социально-экономические.

Энергетические параметры определяют составляющую прибыли от ЭСМТ, получаемую за счет разности между экономией затрат на энергосберегающий объект, строительства которого избегают благодаря энергосбережению, и затратами в ЭСМТ.

Эколого-экономические параметры определяют составляющую прибыли от ЭСМТ, обусловленную снижением воздействия на окружающую среду за счет нестроительства реального энергообъекта, - предотвращенный ущерб от выбросов вредных веществ и занятия земли, а также улучшения технологии у конечного потребителя.

Социально-экономические параметры позволяют рассчитать суммарную прибыль от реализации энергосберегающего потенциала с учетом повышения надежности энергоснабжения и качества производства.

Наилучшим вариантом (сценарием) развития энергетической отрасли следует считать вариант, обеспечивающий максимальную прибыль с учетом фактора энергосбережения, т. е. всех названных ее составляющих.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение понятию «тариф».
2. Перечислите основные виды тарифов на электроэнергию.

3. Как рассчитать плату за электроэнергию по одноставочному тарифу по счётчику.
4. Как рассчитать плату за электроэнергию по двухставочному тарифу с основной ставкой за мощность присоединённых электроприёмников.
5. Как рассчитать плату за электроэнергию по двухставочному тарифу с оплатой максимальной нагрузки.
6. Как рассчитать плату за электроэнергию по одноставочному тарифу, дифференцированному по времени суток, дням недели, сезонам года.
7. По каким тарифам отпускается природный газ и тепло?
8. Дайте определение понятию «норма расхода топливно-энергетических ресурсов».
9. Приведите классификацию норм расхода топлива, тепловой и электрической энергии.
10. Какие методы применяются для разработки норм расхода ТЭР?
11. Дайте определение понятию «энергоемкость продукции».
12. Какие виды энергосберегающих потенциалов Вы знаете.

## 8. ОСНОВНЫЕ ПРАВОВЫЕ И НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ. УПРАВЛЕНИЕ ТЭК. ПРОГРАММЫ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

### 8.1. Закон «Об энергосбережении»

Правовую основу государственной политики энергосбережения и решения всех проблем в области эффективного использования энергии образуют, прежде всего, Закон «Об энергосбережении», республиканские, отраслевые и региональные программы энергосбережения, а также указы Президента, постановления Совета Министров Республики Беларусь и других правительственные органов по конкретным вопросам координации и реализации энергосберегающей политики.

Закон «Об энергосбережении» был принят и вступил в силу в июне 1998 г. Им регулируются отношения, возникающие в процессе деятельности юридических и физических лиц в сфере энергосбережения, в целях повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, и определяются правовые основы этих отношений. *Закон устанавливает энергосбережение в качестве приоритета государственной политики в решении энергетической проблемы в Республике Беларусь.*

Структура Закона «Об энергосбережении» представлена в таблице 8.1. Прокомментируем некоторые положения этого документа. В статье 1 дан ряд определений, в том числе:

– «энергосбережение – организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода (потерь) топливно-энергетических ре-

сурсов в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации»;

– «пользователи топливно-энергетических ресурсов – 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 топливно-энергетические ресурсы»;

– «производители топливно-энергетических ресурсов – субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории Республики Беларусь в качестве юридических лиц, для которых любой из видов топливно-энергетических ресурсов, используемых в республике, является товарной продукцией».

Пользователи и производители топливно-энергетических ресурсов являются субъектами отношений в сфере энергосбережения. Все виды деятельности, которые они осуществляют, от добычи энергоресурсов до внедрения систем управления энергосбережением и средств контроля за использованием ТЭР, сформулированы в статье 3. Государственное управление в сфере энергосбережения включает комплекс мер, направленных на создание экономических, информационных, организационных условий для реализации политики энергосбережения. В том числе – разработку государственных межгосударственных научно-технических, республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения, создание финансово-экономических механизмов их реализации, повышение уровня обеспечения республики местными ТЭР, распространение экологически чистых и безопасных энергетических технологий, демонстрационные проекты высокой энергоэффективности, информационное обеспечение деятельности по энергосбережению, обучение производственного персонала и населения методам экономии топлива и энергии. Предусмотрен государственный надзор за рациональным использованием ТЭР. Согласно статье 7, порядок и условия оснащения пользователей и производителей ТЭР приборами учета их расхода, а также порядок разработки и утверждения правил пользования электрической и тепловой энергией, природным и сжиженным газом, продуктами нефтепереработки устанавливаются правительством Республики Беларусь. В технологические регламенты, технические паспорта, технологические инструкции по эксплуатации всех видов энергопотребляющей продукции включаются нормы расхода топлива и энергии, порядок разработки, утверждения и пересмотра которых, согласно статье 10, также устанавливается Правительством. Статьями 12, 13, 14 регламентируются задачи и объем соответственно надзора за рациональным использованием ТЭР, экспертизы проектных решений, энергетических обследований предприятий, учреждений и организаций. Последние обязательны, если годовое потребление ими ТЭР составляет более 1,5 тыс. т.у.т. Финансирование мероприятий по энергосбережению осуществляется (статья 18) за счет средств республиканского и местных бюджетов, республиканского фонда «Энергосбережение», средств юридических и физиче-

ских лиц, направляемых добровольно на эти цели, и др. Пользователям и производителям ТЭР, осуществляющим мероприятия по энергосбережению, в соответствии со статьей 20 могут предоставляться льготы в виде субсидий, дотаций. Юридические и физические лица, виновные в нарушении законодательства об энергосбережении, несут ответственность в соответствии с законодательством Республики Беларусь (статья 21).

Таблица 8.1.

Структура закона «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
		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
		18	Источники финансирования
		19	Республиканский фонд "Энергосбережение"
		20	Экономическое стимулирование энергосбережения
3	Экономические и финансовые механизмы энергосбережения	21	Ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении
4	Ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении	22	Вступление в силу настоящего Закона
5	Заключительные положения		

Во исполнение Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении», для реализации государственной политики энергосбережения был принят целый ряд нормативных документов:

- Постановление о дополнительных мерах по обеспечению эффективного использования топливно-энергетических ресурсов,
- Постановление о создании областных и Минского городского управления по надзору за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов Государственного комитета по энергосбережению и энергетическому надзору,
- «Положение по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве Республики Беларусь»,
- Постановление «О мерах по усилению работы по реализации энергосберегающей политики в республике»,
- Постановление «О мерах по экономическому стимулированию деятельности субъектов хозяйствования, направленной на сокращение потребления топливно-энергетических ресурсов и освоение энерго- и ресурсосберегающих технологий»,
- Постановление «О порядке разработки, утверждения и пересмотра норм расхода топлива и энергии»,
- Постановление «О порядке проведения энергетического обследования предприятий, учреждений и организаций»,
- Положение «О порядке разработки и выполнения республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения»,
- Директива №3 Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г.

## **8.2. Структура управления ТЭК и системой энергосбережения Республики Беларусь**

На рис. 8.1 показаны связи между субъектами управления подсистем ТЭК и системы энергосбережения; серыми стрелками обозначены связи государственного регулирования, черными – связи хозяйственного ведения. Система управления энергосбережением в Беларуси формировалась с 1993 г. Ее структура показана в первой части рис. 8.1, где связи подчиненности субъектов управления обозначены пунктирными стрелками.

Республиканским органом государственного управления, реализующим функции государственного регулирования по обеспечению топливно-энергетическими ресурсами, является Министерство энергетики Республики Беларусь (Минэнерго).

В топливно-энергетический комплекс Республики Беларусь входят:

- Министерство энергетики, которому подчинены:
  - Белорусское государственное предприятие по транспортировке газа «Белтрансгаз» (50 % акций принадлежит РБ, 50% – РФ);
  - Белорусский государственный энергетический концерн «Белэнерго»;

- Белорусский концерн по топливу и газификации «Белтопгаз»;

• Белорусский государственный концерн по нефти и химии «Белнефтехим», подчиненный непосредственно Совету Министров Республики Беларусь.

*Основными задачами Минэнерго являются:*

- проведение научно-технической, экономической и социальной политики, направленной на создание условий для эффективной работы подведомственных Минэнерго организаций в целях удовлетворения потребности народного хозяйства и населения в электрической и тепловой энергии, природном и сжиженном газе, твердых видах топлива, их рационального безопасного использования;

- принятие в установленном порядке мер по обеспечению энергетической безопасности Республики Беларусь;

*Рис. 8.1. Структура субъектов управления ТЭК и энергосбережением в Республике Беларусь.*

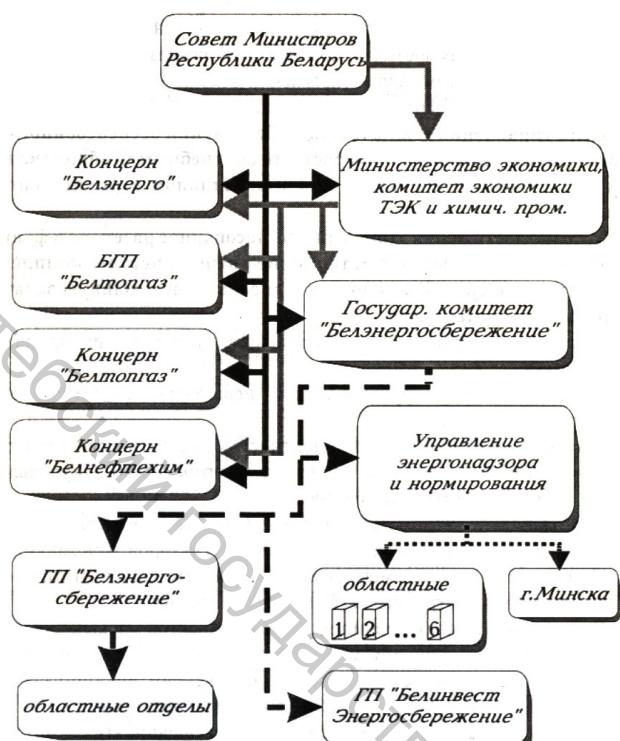
порядке мер по обеспечению энергетической безопасности Республики Беларусь;

- подготовка совместно с другими республиканскими органами государственного управления облисполкомами и Минским горисполкомом предложений по формированию энергетической политики Республики Беларусь и организация реализации этой политики;

- разработка и осуществление мер по улучшению платежной дисциплины при расчетах за топливо и энергию.

Основное направление деятельности ТЭК - это всемерное развитие местных видов и нетрадиционных источников энергии, а также повсеместное внедрение энергосберегающих технологий.

В концерне «Белнефтехим» сосредоточена вся добыча нефти и попутного газа. Лимит добычи нефти на территории Республики Беларусь установлен в объеме 1850,5 тыс. т в год. Концерном совместно с производственным объединением «Белоруснефть» ведется активная работа по участию в разработке российских нефтяных месторождений в Ненецком автономном округе Российской Федерации. Для этой цели создана на паритетных условиях Ненецко-Белорусская нефтяная компания, которая получила лицензию на геологическое изучение недр Лигинского участка. Концерн обеспечивает все отрасли экономики Беларуси жидким топливом и смазочными материалами через находящиеся в его подчинении производственные объединения нефтепродуктов. Кроме этого в его ведении находятся все предприятия химической промышленно-



сти, крупнейшими из которых являются Светлогорское РУП «Химволокно», Могилевские РУП «Химволокно» и «Лавсан».

Предприятие по транспортировке и поставке газа – «Белтрансгаз» явилось правопреемником созданного в 1960 г. в республике Управления магистральных газопроводов. Для эксплуатации введенного в том же году магистрального газопровода «Дашава - Минск» в 1973 году оно было преобразовано в Западное производственное объединение по транспортировке и поставке газа «Западтрансгаз», а в 1982 г. – в Белорусское государственное предприятие по транспортировке и поставке газа «Белтрансгаз». В 2001 г. оно стало Республикаским унитарным предприятием по транспортировке и поставке газа "Белтрансгаз". За 40 лет газовая система на территории нашей республики возросла настолько, что может транспортировать по своим магистральным артериям до 50 млрд  $m^3$  газа. Для сравнения укажем, что в 1992 г. Беларусь потребила 17,5 млрд  $m^3$  газа, а в 1999 г. в республику поступило 16 млрд  $m$  газа. В 2000 году объем транспортируемого «Белтрансгазом» по системе магистральных газопроводов, проложенных по нашей республике, составил 41,8 млрд  $m^3$ , из них 16,5 млрд  $m^3$  – потребителям Республики Беларусь. Остальное количество – транспортные поставки в Украину, Литву, Калининградскую область, Западную Европу. В 2006 г. подписано соглашение о продаже Российской Федерации 50% акций «Белтрансгаз».

«Белтрансгаз» эксплуатирует 6,4 тыс. км газопроводов диаметром от 100 до 1400 мм. Подача природного газа потребителям республики обеспечивается функционированием 6 линейных компрессорных станций, 201 газораспределительной станции, 8 узлов редуцирования. Устойчивое газоснабжение поддерживается 6 газоизмерительными станциями, 632 станциями катодной защиты. В его ведении два подземных хранилища газа: Осиповичское с объемом активного газа 0,36 млрд  $m^3$  и Прибугское, первая очередь которого позволяет создать запасы активного газа в объеме 0,48 млрд  $m^3$ , – в определенной мере обеспечивают удовлетворение неравномерного сезонного спроса на газ хозяйствующих субъектов.

В настоящее время природный газ *составляет порядка 70 % в топливном балансе страны*. От надежности состояния и функционирования системы газоснабжения зависят экономика страны и жизнеобеспечение населения. Газ прочно вошел в нашу повседневную жизнь, стал незаменимым в народном хозяйстве. Он используется в качестве топлива для коммунально-бытовых нужд населения в 92 административных районах, является важнейшим топливным ресурсом для производства электрической и тепловой энергии.

Кроме того, газ – ценнее сырье для химической промышленности, производства минеральных удобрений, синтетических волокон, различных видов пластмасс, других современных материалов, составляющих основную часть экспортного потенциала республики. Он используется как моторное топливо для автомобилей, по другому назначению.

За транзит по российскому газопроводу «Ямал - Западная Европа» через нашу территорию от «Газпрома» России РБ получала порядка 18 млрд  $m^3$  газа.

В соответствии с прогнозом потребления электроэнергии ожидается потребность в ней в 2015 г. в размере 41-45 млрд кВт·ч или увеличение по сравнению с 1999 г. на 22-23 %, тепловой энергии – 83-89 млн Гкал, или на 14-22 %. Установленная мощность всех энергоисточников при условии самообеспечения республики электроэнергией должна составить к 2010 году 8,3-9,0 млн кВт, к 2015 году – 8,6-9,4 млн кВт.

Концерну «Белэнерго» подчинены все республиканские унитарные предприятия по выработке электро- и тепловой энергии. Кроме них огромное количество котельных находится в ведении коммунальных служб, предприятий и объединений различных министерств и ведомств, а по выработке электроэнергии - ТЭЦ предприятий (Добрушской бумажной фабрики, Жабинского, Городецкого, Скидельского, Слуцкого сахарных заводов и др.)

Концерн «Белтопгаз» был создан в 1992 году для снабжения природным и сжиженным газом, а также твердым топливом (торфяными брикетами, дровами) на основе существовавшего Государственного комитета БССР по газификации. Он занимается также эксплуатацией, строительством, проектированием газовых сетей. В его ведении 20 тыс. км трубопроводов, свыше 2 тыс. газорегуляторных пунктов, свыше 3 тыс. групповых установок сжиженного газа. Им обслуживаются более 3,5 млн квартир, более 30 тыс. объектов социального назначения, 3700 предприятий промышленности, энергетики, сельского и коммунального назначения. Концерн отвечает за производство топливных брикетов, других видов топлива.

Государственным органом, осуществляющим межведомственный и независимый надзор за рациональным использованием ТЭР, является **Комитет по энергоэффективности** при Совете Министров Республики Беларусь.

Комитет по энергоэффективности принимает участие в разработке республиканских, отраслевых и территориальных топливно-энергетических балансов, выступает заказчиком НИОКР в сфере энергосбережения, организует *разработку концепций и республиканских программ по энергосбережению*, согласовывает соответствующие отраслевые, областные и Минскую городскую программы и контролирует их реализацию. Он также принимает участие в разработке проектов республиканских программ создания новых технологий техники в части энергосбережения, организует проведение работ по развитию и использованию нетрадиционных источников энергии вторичных энергетических ресурсов, замещению импортируемых видов топлива, участвует в формировании программ производства и внедрения энергосберегающего оборудования, приборов учёта и регулирования потребления ТЭР, в разработке и рассмотрении проектов стандартов норм и правил, относящихся к сфере использования ТЭР. Комитет по энергоэффективности осуществляет и другие функции, предусмотренные законодательством.

Главному государственному инспектору Республики Беларусь в линии председателя Комитета по энергоэффективности, его заместителям, главным государственным инспекторам областей и г. Минска, их заместителям, государственным инспекторам по надзору за рациональным использованием ТЭР пре-

доставлено право:

- беспрепятственно посещать (при предъявлении документов) проверяемые объекты;
- привлекать специалистов и технические средства предприятий (по согласованию с руководителями предприятий) для выполнения своих служебных обязанностей;
- давать обязательные для всех потребителей предписания об устранении фактов нерационального расходования топлива, электрической и тепловой энергии, отсутствия необходимых приборов учёта и регулирования;
- составлять протоколы о фактах нерационального использования ТЭР для принятия решений о применении к их потребителям экономических санкций в соответствии с законодательством.

Координация выполнения функций субъектами управления энергетического сектора в полной мере возможна лишь в условиях интегрированной автоматизированной системы управления энергосбережением (ИАСУЭ), охватывающей все уровни энергоменеджмента – от отдельных предприятий, фирм до руководящих национальных органов. ИАСУЭ сложит информационно-технической основой управления потоками энергии, а также связанными с ними финансовыми и информационными потоками. Она обеспечит прозрачность и управляемость в системе энергосбережения. Кроме того, эта система служит для оценки энергосберегающего потенциала, распределения финансирования на ЭСМТ, оценки экономического и социально-экологического эффектов энергосбережения.

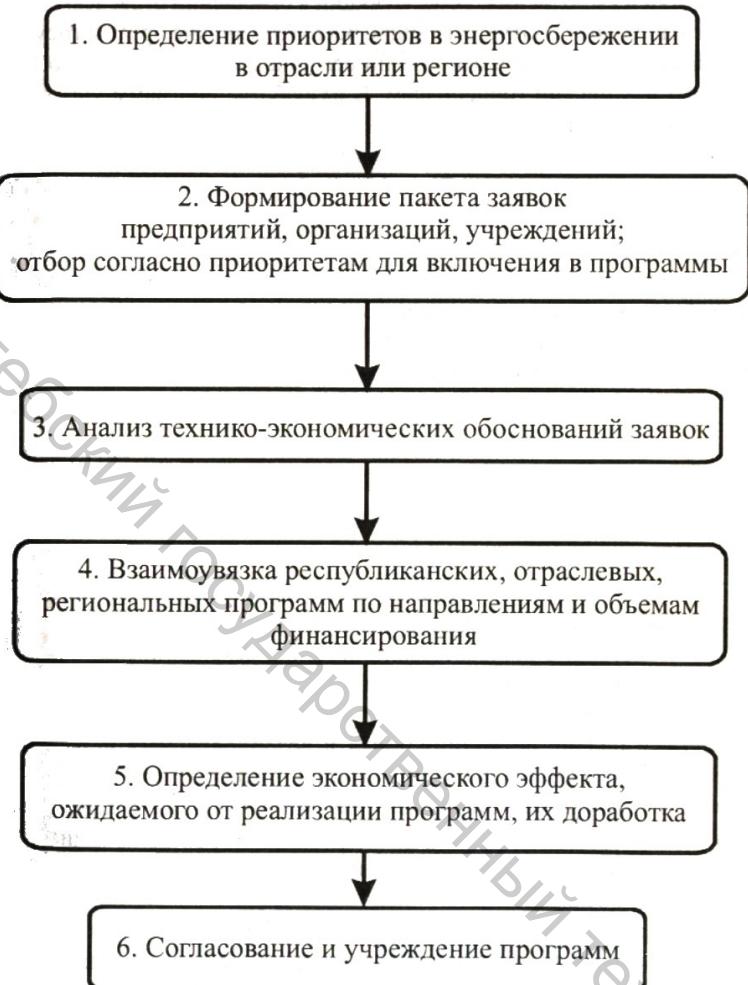
### **8.3. Республиканские отраслевые и региональные программы по энергосбережению**

Основным инструментом проведения энергосберегающей политики Республики Беларусь является разработка и реализация государственной научно-технической, республиканской, областных и отраслевых программ энергосбережения.

Программа – это документ, отражающий комплекс организационных, технических, экономических мероприятий, взаимоувязанных по ресурсам, исполнителям, срокам реализации и направленных на решение задач энергосбережения в республике, отрасли, регионе. Она определяет приоритетные направления реализации государственной политики в области энергосбережения, а также пути максимального использования имеющихся резервов экономии ТЭР.

**Республиканские программы** разрабатываются на каждые предстоящие 5 лет, начиная с 2001 года. Комитет по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь по согласованию с Министерством экономики в срок до 1 ноября года, предшествующего началу реализации разработанной республиканской программы, вносит ее на рассмотрение Совет Министров Республики Беларусь.

Программы энергосбережения определяют приоритеты в реализации госу-



*Рис. 8.2. Этапы разработки программ энергосбережения*

дарственной политики в области энергосбережения, путем использования энергосберегающего потенциала в республике, отрасли, регионе и содержат комплекс организационных, технических, экономических и иных мероприятий, взаимоувязанных по ресурсам, исполнителям, срокам реализации. Республиканские и отраслевые долгосрочные программы разрабатываются на каждые 5 лет, начиная с 2001 г., отраслевые краткосрочные и региональные программы разрабатываются сроком на один год. На рис. 8.2 представлены этапы разработки программ энергосбережения. Государственным заказчиком республиканских программ является Государственный комитет по энергосбережению.

Госкомэнергосбережению и энергетическому надзору (Госкомэнергосбережение). Он же осуществляет организационное, методическое обеспечение и контроль их разработки и выполнения. Те же функции в отношении отраслевых программ выполняют соответствующие республиканские органы государственного управления, в отношении региональных программ – облисполкомы и Минский горисполком. В разработке программ участвуют компетентные организации и учреждения, ведущие ученые и специалисты. 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. Объем снижения определяется по основным целевым показателям прогноза социально-экономического развития республики на соответствующий период. О ходе выполнения программ энергосбережения Госкомэнергосбережение в установленном порядке информирует Совет Министров Республики Беларусь и Министерство экономики.

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

энергосбережению.

Работа по энергосбережению проводилась по следующим приоритетным направлениям:

- модернизация и повышение эффективности котельных, внедрение парогазовых и газотурбинных установок;
- оптимизация режимов и схем теплоснабжения;
- замена электрокотельных на более экономичные теплоисточники;
- внедрение систем учета и регулирования энергии;
- использование вторичных энергоресурсов;
- уменьшение потерь при передаче энергии;
- установка энергоэкономичных осветительных устройств;
- внедрение новых энергосберегающих технологий и оборудования;
- внедрение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Главный результат выполнения программы – с 1995 по 2000 г. обеспечен прирост валового внутреннего продукта (ВВП) на 28,3 % без прироста потребления топливно-энергетических ресурсов, что впервые за последние годы способствовало реализации положительной тенденции снижения энергоемкости ВВП на 22,4 %. Суммарная экономия топливно-энергетических ресурсов в республике в сопоставимых условиях на этот период оценивается на уровне 6,8 млн тонн условного топлива, в том числе за счет реализации энергосберегающих мероприятий – более 4 млн тонн условного топлива.

Концептуально основные направления энергосбережения до 2005г. были сгруппированы в два блока:

- организационно-экономический;
- технические приоритеты.

В организационно-экономические направления деятельности по энергосбережению были включены:

- государственная экспертиза по эффективности проектных решений;
- оценка на соответствие действующим нормативам и стандартам и определение достаточности и обоснованности предусматриваемых мер по энергосбережению;
- проведение регулярных энергосберегающих обследований хозяйствующих субъектов, а также сертификации продукции по энергоемкости и введение в действие системы прогрессивных норм расхода топлива и энергии;
- пересмотр тарифной политики на топливо, тепловую и электрическую энергию с целью поэтапной ликвидации перекрестного субсидирования, а также включение в тариф только нормируемых затрат на производство и транспортировку соответствующих видов энергоресурсов;
- разработка новых и совершенствование существующих экономических механизмов, стимулирующих повышение энергоэффективности производства продукции и оказания услуг, определяющих меры ответственности за нерациональное потребление ТЭР как для хозяйствующих субъектов, так и для конкретных руководителей и должностных лиц;
- реализация положений Закона Республики Беларусь "Об энергосбережении".

нии" (введение обязательной энергомаркировки бытовых электроприборов и их сертификации по показателям энергопотребления);

- разработка стандартов минимальной энергоэффективности основных видов бытовых электроприборов в соответствии с директивами ЕС;

К основным техническим приоритетам деятельности в области энергосбережения отнесены:

- повышение эффективности работы генерирующих источников за счет изменения структуры генерирующих мощностей в сторону расширения внедрения парогазовых и газотурбинных технологий, увеличения выработки электроэнергии на тепловом потреблении, преобразование котельных в мини-ТЭЦ, оптимизации режимов работы энергоисточников и оптимального распределения нагрузок энергосистемы;
- модернизация и повышение эффективности работы действующих котельных;
- внедрение котельного оборудования, работающего на горючих отходах;
- снижение потерь и технологического расхода энергоресурсов при транспортировке тепловой и электрической энергии, природного газа, нефти, нефтепродуктов;
- внедрение автоматических систем регулирования потребления энергоносителей в системах отопления, освещения, горячего и холодного водоснабжения и вентиляции;
- разработка и внедрение энергосберегающей технологии при нагреве, термообработке, сушке изделий, производстве новых строительных и изоляционных материалов;
- дальнейшее развитие системы учета всех видов энергоносителей, включая расходы на отопление жилых помещений, а также внедрение многотарифных счетчиков энергии;
- максимальная утилизация тепловых вторичных энергоресурсов;
- разработка и внедрение технологии использования бытовых отходов и мусора в качестве топлива;
- экономически целесообразное внедрение ветро-, гелио- и других нетрадиционных источников энергии;
- техническое перевооружение автомобилей и тракторов, включая переход на дизельное топливо, сжиженный и сжатый природный газ, разработка и внедрение экономичных двигателей;
- разработка и внедрение технологии получения топлива для дизельных установок из метанола и рапсового технического масла;
- выращивание быстрорастущей древесины для топливных целей;
- децентрализация систем энергообеспечения потребителей с малыми нагрузками и резко переменными режимами работы, теплом, топливом, сжатым воздухом;
- максимальное снижение энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве путем внедрения регулируемых систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, освещения, утилизации тепла вентывбросов, сточных вод, ис-

пользования энергоэффективных стройматериалов, конструкций, гелиоподогревателей.

Реализация данных направлений потребовала финансовых затрат в 0,5–0,6 млрд дол., США на период до 2005 г. или ежегодно по 100–120 млн дол. США, а суммарная экономия ТЭР за 5 лет составляла около 6,3 млн т у.т., что соответствует среднегодовой – 1,3 млн т у.т.

**Отраслевые программы** бывают как долгосрочные, так и краткосрочные сроком на 1 год. Концерны «Белэнерго», «Белнефтехим», «Белтопгаз», республиканское унитарное предприятие по транспортировке газа, «Белтрансгаз» свои программы представляют в Министерство энергетики до 15 сентября года, предшествующего их реализации.

**Региональные программы** разрабатываются на 1 год в срок до 1 декабря года, предшествующего их реализации и представляются на согласование Комитету по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь и Министерству экономики.

**Республиканские 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, а также новейших достижений НТП в этой области;
- определение резервов экономии ТЭР;
- обоснование наиболее важных направлений энергосбережения с указанием исполнителей, сроков и этапов их выполнения;
- оценку финансовых, материально-технических, трудовых ресурсов, требующихся для реализации программ с определением источников их обеспечения;
- механизмы реализации программы и контроля за ходом их выполнения;
- ожидаемые конечные разработки и оценка эффективности.

**Краткосрочные отраслевые и региональные программы должны предусматривать:**

- 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, в т. ч. сроков окупаемости, планируемых затрат и источников финансирования, исполнителей программы и сроков выполнения намеченных мероприятий;
- мероприятия по энергосбережению, актуальные для отрасли или региона на ближайший период, с указанием мер по их реализации.

В республиканской программе энергосбережения определяются имеющиеся резервы экономики ТЭР в отраслях экономии и намечаются меры по их реализации. Ежегодно разрабатываемые и реализуемые отраслевые и региональные программы энергосбережения обеспечивают достижение установленных в

республиканской программе показателей по энергосбережению, в т. ч. в долгосрочной перспективе.

## Контрольные вопросы

1. Опишите структуру закона «Об энергосбережении».
2. Прокомментируйте основные статьи закона «Об энергосбережении».
3. Какие нормативные документы были приняты во исполнение закона «Об энергосбережении».
4. Перечислите основные задачи Минэнерго и опишите его структуру.
5. Какова сфера деятельности концерна «Белнефтехим»?
6. Охарактеризуйте возможности предприятия по транспортировке и поставке газа «Белтрансгаз».
7. Какова сфера деятельности концернов «Белэнерго» и «Белтопгаз»?
8. Что является задачами комитета по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь?
9. Перечислите этапы разработки программ энергосбережения.
10. Какие приоритетные направления предусматриваются республиканскими программами по энергосбережению? Каковы их результаты?
11. Какие основные разделы должны включать Республиканские и долгосрочные отраслевые программы?

## 9. ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА И АУДИТА

### 9.1. Понятие энергетического менеджмента

Энергетический менеджмент – методологическая наука с практическим инструментарием для осуществления процесса управления использованием энергии.

В энергетическом менеджменте прослеживаются все элементы процесса управления: планирование, организация, мотивация, контроль, – присущие в определении общего менеджмента. Цель энергетического менеджмента – удовлетворение потребностей организации в энергии при минимуме отрицательного влияния на окружающую среду. Энергетический менеджмент следует рассматривать как составную часть, как обязательный элемент менеджмента.

Методы и результаты энергоменеджмента как прикладной науки необходимы для успешного функционирования любой организации, начиная от международных образований, государств и кончая семьей, любой отрасли экономики. Энергетический менеджмент осуществляется на всех вертикальных и горизонтальных уровнях управления организаций.

Специалист по энергетическому менеджменту – человек, выполняющий управленические функции для достижения целей энергетического менеджмента

как подцелей миссии менеджмента в данной организации. Чтобы организовать эффективное и щадящее по отношению к окружающей среде потребление энергии, нужны систематические и основательные знания для триединых действий в области технологии, организации и поведения.

Специалисты по энергетическому менеджменту должны обладать определенным мировоззрением и широким спектром социальных, психологических, экономических и технических знаний. Эти специалисты необходимы на всех уровнях управления во всех организациях.

В странах Европейского Союза, в США, Японии уже сложилась кадровая структура энергетического менеджмента, определились функциональные обязанности и права при достаточно высоком уровне энергоменеджмента и его специфике в каждой стране и организации. Анализ опыта этих стран показывает, что без государственных политики и программ энергосбережения, без создания системы энергетического менеджмента невозможно преодолеть экономический кризис и достичь стабильного социального и экономического развития. Активно развивается энергетический менеджмент в нашей республике и других странах СНГ. Активная организационная и практическая работа по реализации принятых концепций и программ, внедрение энергоэффективных технологий вывели Республику Беларусь на передовые позиции в области энергосбережения среди других стран СНГ. Причем энергоэффективные технологии понимаются в широком смысле - как практический инструментарий процесса управления эффективным использованием энергии, т. с. совокупность методик и средств в области организации, технологии (технические решения конструкций и производственных процессов) и поведения.

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

## 9.2. Энергетический баланс

Энергетический баланс отражает достоверное количественное соответствие между потребностью и приходом ТЭР на данный момент или период времени.

При составлении баланса рассматриваются виды потребляемой энергии: электроэнергия, газ, мазут, пар и т. п. Далее производится количественное измерение потребления энергии на все цели, в том числе и потери энергии.

Баланс составляется на основании фактического потребления энергии. Для получения данных используются самые различные приборы: счетчики электроэнергии, газа, пара, воды, отопления и т. п.

Изучение энергетических балансов дает возможность установить фактическое состояние использования энергии как на отдельных участках производст-

ва, так и по предприятию в целом, выявить резервы экономии энергии.

Балансы могут составляться по отдельным энергоносителям, измеряемым соответствующими единицами (джоули, киловатт-часы, тонны условного топлива), и по суммарному потреблению энергоносителей в тоннах условного топлива.

В зависимости от назначения энергетические балансы могут характеризоваться следующими признаками:

- по назначению – на отчетные и плановые;
- по видам энергоносителей – на частные (по отдельным видам топлива и энергии) и сводные;
- по объектам изучения – на балансы отдельных видов технологического оборудования, цехов и предприятия в целом;
- по принципам составления – на аналитические, синтетические, нормализованные и оптимальные;
- по принципам оценки *использования топлива и энергии* – на энтропийные (энтропия – поворот, превращение: например, процесс превращения топлива в энергию), эксергетические (от греч. ex - приставка, ergon – работа: максимально возможная работа, которую может совершить система при переходе из одного состояния в другое).

*Отчетные балансы* отражают фактические показатели производства и потребления энергии и топлива в истекшем периоде и фактический качественный уровень их использования.

*Плановые балансы* являются основной формой планирования энергопотребления и энергопользования на предстоящий период.

*Аналитические балансы* отражают глубину и характер использования подводимых энергоносителей. Они служат основой для оценки энергетической эффективности рассматриваемых процессов, а их показателями являются энергетические коэффициенты полезного действия, определяемые по формуле:

$$h = \frac{\mathcal{E}_{\text{пол}}}{\mathcal{E}_{\text{подв}} + \mathcal{E}_{\text{вн}}},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{пол}}$  - полезная энергия;  $\mathcal{E}_{\text{подв}}$ , - суммарное подведенное к объекту количество энергии;  $\mathcal{E}_{\text{вн}}$  - энергия, выделяющаяся внутри данного объекта в результате проведения технологического процесса.

Если полученные в результате осуществления технологического процесса вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) используются вне его, то коэффициент полезного действия

$$h = \frac{\mathcal{E}_{\text{пол}} + \mathcal{E}_{\text{ВЭР}}}{\mathcal{E}_{\text{подл}} + \mathcal{E}_{\text{вн}}}$$

*Оптимальным энергетическим балансам* является такой вариант его, при котором объем планируемого выпуска продукции осуществляется с минимальными затратами энергии.

Для более достоверной оценки эффективности энергоиспользования сложных систем, включающих электрическую энергию, топливо и тепловую энергию различных параметров, используют экспергетический баланс, с помощью которого определяется работоспособность (экспергия) технологических и энергетических установок.

Для составления и анализа энергетического баланса предприятия информация может быть представлена в виде следующих данных:

- общая производственная и энергетическая характеристика предприятия (объемы и номенклатура выпускаемой продукции, ее себестоимость с выделением энергетической составляющей);
- описание схемы материальных и энергетических потоков;
- перечень и характеристика основного энергоиспользующего оборудования;
- данные о расходах энергоносителей;
- данные о работах по рациональному использованию энергии на предприятии.

Схема материальных и энергетических потоков сопровождается описанием видов и параметров энергоносителей, состоянием использования вторичных энергетических ресурсов, системы учета и контроля расхода энергии и энергоносителей.

Анализ энергетического баланса состоит в качественной и количественной оценке состояния энергетического хозяйства предприятия.

### **9.3. Энергетические аудиты и обследования**

Энергетические аудиты и обследования – *основной инструмент* энергетического менеджмента. Их *цель* - выявить источники энергосбережения, оценить потенциал энергосбережения и разработать программу энергосберегающих мероприятий и технологий (ЭСМТ) с установлением приоритетов их внедрения.

При выполнении энергетических обследований и аудитов предприятий решаются следующие задачи:

- анализ фактического состояния и эффективности энергоиспользования, выявление причин потерь энергии, их классификация и оценка;
- определение рациональных размеров энергопотребления в производственных процессах и установках;
- определение оптимальных направлений, способов и размеров использования первичных и вторичных энергоресурсов;
- оценка резервов сбережения энергии, т.е. энергосберегающего потенциала с помощью матриц ЭСМТ;
- улучшение режимов работы технологического и энергетического оборудования;
- разработка или уточнение норм расхода ТЭР на производство продукции;
- организация или совершенствование систем учета и контроля расхода

энергии;

- решение вопросов по установлению нового оборудования и совершенствованию технологических процессов.

Поясним разницу понятий «энергообследование» и «энергоаудит». Обе процедуры предназначены для оценки эффективности энергозатрат, определения возможностей энергосбережения и создания плана реализации ЭСМТ. Однако, используя первый термин - «энергообследование», как правило, имеют в виду проведение обследования силами самого предприятия. Термин «энергоаудит» применяют, если процедура проводится внешними организациями с информационно-технической помощью персонала самого предприятия. Такими внешними организациями могут быть консультационные или правительственные агентства, имеющие высококвалифицированных экспертов и современные портативные контрольно-измерительные приборы. Например, энергоаудиты на промышленных предприятиях инспекторы энергоснабжающих компаний США проводят либо самостоятельно, либо обращаются к услугам компетентных экспертов научно-исследовательских институтов, университетов, консалтинговых фирм не только США, но и Европы. В пяти странах применяются обязательные энергетические аудиты. В отраслях с большим потреблением энергии аудиты проводятся регулярно и их предписания обязательны к исполнению. Энергетические аудиты являются необходимым условием для выделения правительенных субсидий или другой помощи в осуществлении мероприятий по энергосбережению. В Италии, Франции, Нидерландах, Португалии существует требование составления энергетических планов крупными промышленными предприятиями с указанием намечаемых мероприятий по повышению энергоэффективности, а также отчетов по использованию энергии в течение года и деятельности, направленной на уменьшение энергопотребления.

В Республике Беларусь обязательному энергообследованию подлежат предприятия, учреждения, организации, если годовое потребление ими ТЭР составляет более 1,5 тыс. тут. Производить эти энергообследования имеют право специализированные организации, имеющие разрешение (лицензию) Государственного комитета по энергосбережению и энергетическому надзору на их выполнение, за счет средств обследуемых предприятий и республиканского фонда «Энергосбережение». Обследование проводится согласно графику, утвержденному соответствующим республиканским органом государственного управления, объединениями, подчиненными СМ РБ, облисполкомами и Минским горисполкомом и согласованному с Комитетом по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь. Интервал между энергетическими обследованиями не должен превышать 5 лет. О сроках проведения обследования субъекты хозяйствования извещают за 3 месяца до его начала.

Стоимость работ по энергетическому аудиту оплачивается за счет средств обследуемых:

- хозрасчетных организаций - по статье затрат, относимых на себестоимость продукции, а также за счет республиканского фонда «Энергосбережение»;

– бюджетных организаций (при финансировании местных бюджетов) -по смете, согласованной областными или города Минска энергетическими комиссиями (по территориальному признаку).

Стоимость работ определяется на основании временного нормативного документа «Порядок определения трудозатрат на проведение работ по энергетическим обследованиям, на разработку энергетических балансов и норм расхода топливно-энергетических ресурсов».

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.

Различают предварительное энергообследование (аудит) и детальное (подробное). Предварительное может иметь самостоятельное значение или быть начальным этапом детального обследования.

На рис. 9.1 представлена технологическая схема энергообследования промышленного предприятия. Энергообследование включает четыре этапа. На этапе предварительного энергообследования (ПЭО) собирается имеющаяся информация об объемах потребления ТЭР, которая дополняется осмотром предприятия и результатами самых простых замеров. Широко используются заранее составленные типовые опросники. На следующем этапе выполняется детальное энергообследование (ДЭО) предприятия. Таблица 9.1 дает сведения о действиях аудиторов на этапе предварительного энергообследования и его результатах.

По результатам ПЭО детальное энергообследование может потребоваться как для всего, так и для части предприятия. Оно позволяет выявить и разделить энергетические потоки по отдельным цехам и установкам. ДЭО предусматривает тщательный анализ потоков энергии всех видов на основе приборного обследования объектов, процессов и оборудования, изучения режимов их работы, паспортных данных оборудования, составление энергетических балансов по отдельным видам энергоносителей, отдельным производствам, цехам, установкам, в целом по предприятию.

Третий этап энергообследования включает анализ результатов ДЭО и разработку рекомендаций по энергосбережению, их экономическую оценку (низко-, средне- и высокозатратные), оценку по времени реализации (кратко-, среднес- и долгосрочные), корректировку матриц ЭСМТ, установление приоритетов мер по энергосбережению.

На четвертом этапе энергообследования производятся подготовка итогового отчета и плана мер по энергосбережению, представление их руководителям предприятия, обучение, инструктаж персонала предприятия, оказание ему консультационной помощи по реализации плана.

## МЕТОДИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ

1

### Подготовка и формирование необходимой исходной информации

#### Общая производственная и энергетическая характеристики предприятия:

- назначение произв-ва;
- объемы и виды продукц.
- произв-ные подразделения основного и вспомогательного технологического назначения

#### Общие показатели производ-ой и энерг. характеристик:

- Ст-ть основных произв-ых фондов
- себестоимость;
- прибыли;
- численность персонала предприятия

#### Характеристика состояния работ по энергосбережению

- данные об удельных фактических расходах и нормах расхода энергии;
- харак-ки основных ЭСМТ;
- результаты внедрения этих мероприятий.

#### Описание схемы материальных и энергетических потоков

- технологический процесс в отдельных производ-ых, подразделениях;
- харак-ки основного оборудования;
- источники энергии.

#### Система учета и контроля расхода электроэнергии

- структура годового поступления;
- структура годового потребления

#### Выбор элементов предприятия (цехи, установки, ...), подлежащих детальному энергетическому обследованию

#### Проведение необходимых испытаний, измерений и расчетов

2

### Составление электроэнергетических балансов

#### Проведение дополнительных испытаний, измерений и расчетов для элементов, подлежащих детальному энергообследованию (при необходимости)

#### Составление приходных и расходных частей энергобалансов (фактических и с учетом энергосберегающих эквивалентов нагрузок, включая нетрадиционные возобновляемые источники в приходной части) в аналитической форме по отдельным установкам      цехам      предприятию в целом

3

### АНАЛИЗЫ

#### структурь энерго-потребления

#### фактических и нормативных показателей эффективности энергоиспользования

#### оценка возмож-ти энергосбер-щего потенциала

#### структурь источников энергии

#### 4

### ВЫДАЧА РЕКОМЕНДАЦИИ ПО

#### рационализации систем учета и контроля расхода энергии

#### разработке комплексных матриц ЭСМТ на основе ИАСУ

#### корректировке текущих и расчету перспективных норм расхода

*Рис. 9.2. Технологическая схема энергообследования предприятия*

Таблица 9.1

Действия аудиторов на этапе предварительного энергообследования и его результатах

Действия лица (группы), проводящего ПЭО:	Результаты ПЭО:
<p>1. Составление плана сбора данных о предприятии и содействия в их получении администрации.</p> <p>2. Сбор данных: счета за энергию, объемы продукции, план предприятия и т.д.</p> <p>3. Анализ данных: тарифов, энергозатрат на единицу продукции (площади), структуры энергопотребления по предприятию.</p> <p>4. Разработка плана немедленных мер по энергосбережению (где? как? сколько?), областей и средств для ДЭО.</p> <p>5. Реализация немедленных мер и замеры для оценки их результатов.</p> <p>6. Представление отчета о результатах ПЭО и убеждение руководства предприятия о необходимости ДЭО.</p>	<p>1. Общая структура энергопотребления на предприятии.</p> <p>2. Оценка потенциала энергосбережения.</p> <p>3. Приоритетные области ЭСМТ.</p> <p>4. Немедленные меры по энергосбережению.</p> <p>5. Области для детального обследования.</p>

В результате энергообследования 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 проверки и оперативной настройки котлов, газовых турбин, горелок, для контроля выбросов оксидов углерода, азота и серы;

- анализаторами электропотребления, измеряющими и запоминающими параметры потребления трехфазных и однофазных приемников электроэнергии: токи и напряжения во всех фазах, активную и полную мощность, коэффициент мощности и потребленную энергию;

- цифровыми контактными и инфракрасными бесконтактными термоманометрами с трубками Пито и анемометрами, измеряющими скорости воздушного потока;

- цифровыми люксметрами, определяющими уровни освещенности в зданиях и сооружениях;

- электронными анализаторами качества питательной воды котлов, измеряющими pH среды, проводимость и количество растворенных солей, содержа-

ние кислорода и температуру;

– детекторами конденсата отводчиков и трубопроводов, проверяющими исправность их и запорной арматуры, определяющими утечки в паро-, газо- и воздухопроводах;

– другими современными измерителями - накопителями данных.

Чтобы облегчить работу по обследованию, обычно предлагается подготовить соответствующие формы по энергетическому осмотру. Они должны содержать всю необходимую информацию. Затем при обследовании производится запись информации в подготовленные формы.

В процессе аудита (обследования) рекомендуется использовать матрицы (таблицы) типовых ЭСМТ, разработанные предварительно экспертами по энергосбережению. Это отвечает *автоматизации процесса аудита*. 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 (рис. 9.3), что облегчает анализ отдельных ЭСМТ, оценку их технической осуществимости реализации, экономической и социально-экологической целесообразности.



Рис. 9.3. Классификация энергосберегающих мероприятий и технологий (ЭСМТ)

В общей задаче сбережения топливно-энергетических ресурсов особое значение имеет сбережение на уровне потребления, и прежде всего в промышленности, где расходуется их основная часть, так, здесь потребляется около 50% от вырабатываемой электростанциями электроэнергии. Поэтому *проиллюстрируем структуру потерь энергии* и матрицу ЭСМТ на примере системы обеспечения электроэнергией промышленного предприятия.

Общие потери на промпредприятиях составляют до 20% от электроэнергии, потребляемой промышленными электроприемниками. В сетях электроснабжения предприятия потери электроэнергии не превышают 10-15% от общих потерь, остальная часть теряется в технологических установках и агрегатах.

Электрические потери делятся на два вида:

- номинальные (неустранимые) – потери в оборудовании и в сетях при номинальных режимах и оптимальном выборе параметров системы электроснабжения предприятия;
- дополнительные (устранимые) – потери, обусловленные отклонениями

режимов и параметров системы электроснабжения и технологического оборудования от номинальных значений.

Устранение номинальных потерь экономически не оправдано, а дополнительных - возможно и экономически целесообразно. Для оценки эффективности потребления энергии и выявления возможностей ее сбережения на предприятии необходимо проанализировать причины потерь указанных видов в элементах системы электроснабжения и технологического оборудования. В таблице 9.2 приведены основные причины, вызывающие потери электроэнергии на промышленных предприятиях.

Подобная классификация служит основой для разработки матриц ЭСМТ с учетом уровней и стадий внедрения энергосберегающих технологий и мероприятий. На рис. 9.4 дана типовая матрица ЭСМТ по электрической энергии на промышленном предприятии. В ней выделено три временных уровня реализации энергосберегающих технологий и мероприятий: проектирование, эксплуатация и реконструкции - и три функциональных уровня: электрические сети внешнего и внутреннего электроснабжения, технологические процессы и вспомогательные (общезаводские) нужды предприятия.

Таблица 9.2  
Причины, вызывающие потери электроэнергии на промышленных предприятиях

ВИДЫ ПОТЕРЬ:	ПРИЧИНЫ ПОТЕРЬ:
Номинальные (неустранимые)	Допустимые нормами джоулевые потери в проводах и обмотках электрооборудования, потери в железе трансформаторов, двигателей и т.п.
Дополнительные (устранимые)	<p>1. Потери, вызванные неудовлетворительной эксплуатацией оборудования и инженерных сетей:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– неполная загрузка технологического оборудования, неплановые простои, неисправность оборудования, технологические нарушения, вызывающие нерациональное использование агрегатов (холостой ход) и плохая организация рабочих мест,</li><li>– наличие электродвигателей завышенной мощности, холостой ход сварочных трансформаторов и технологического оборудования, отсутствие или недостаточная компенсация реактивной мощности;</li><li>– нерациональное использование осветительных установок.</li></ul> <p>2. Потери, вызванные конструктивными недостатками оборудования, неправильным выбором технологического режима работы, отсутствием приборов учета, отставанием развития инженерных сетей и т. д.:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– работа технологического электрооборудования с повышенными потерями или с пониженной производительностью;</li><li>– нерациональная эксплуатация электродуговых сталеплавильных и индукционных печей;</li><li>– нерациональная эксплуатация компрессорных установок;</li><li>– недостаточные уровни эффективности, качества и надежности систем электроснабжения</li></ul>

## Контрольные вопросы

1. Определите понятия «энергетический менеджмент» и «специалист по энергетическому менеджменту».
2. Перечислите цели энергетического менеджмента для разных иерархических уровней.
3. Каковы функции субъектов энергетического менеджмента верхнего уровня?
4. Дайте определение понятию «энергетический баланс». Какие их виды Вы знаете?
5. Какие задачи решают при проведении энергетических аудитов предприятий?
6. Какова разница между понятиями «энергообследование» и «энергоаудит»?
7. Какие виды энергоаудитов Вы знаете?
8. Из каких этапов состоит энергообследование промышленного предприятия?
9. Чем оснащаются передвижные лаборатории специализированных организаций, проводящих энергообследование?
10. Какое оборудование является наиболее важным при обследовании: система сжатого воздуха, водоснабжения, котельных, печей, бойлеров, зданий.
11. Что представляет собой матрица энергосберегающих мероприятий и технологий? Для чего она применяется?
12. Перечислите основные причины, вызывающие потери электроэнергии на промышленных предприятиях.

## 10. ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В РАЗЛИЧНЫХ СЕКТОРАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ

### 10.1. Энергосбережение в зданиях

**Общие вопросы.** Согласно современной концепции, с точки зрения энергопотребления, проектирование, строительство и использование здания рассматриваются как единая технологическая цепь, имеющая своей целью минимизировать энергоматериальные, трудовые затраты и воздействие на окружающую среду. Из общего объема тепловой энергии, потребляемой при строительстве и эксплуатации зданий сегодня, только 10% расходуется на производство строительных материалов и изделий, а также на сам процесс строительства, а 90% идет на отопление и горячее водоснабжение, что в 2 раза больше, чем в западноевропейских странах.

Типовая структура расхода тепловой энергии зданием, а также потенциал

энергосбережения следующие:

- наружные стены – 30% (потенциал 50%);
- окна – 35% (потенциал 50%);
- вентиляция – 15% (потенциал 50%);
- горячая вода – 10% (потенциал 30%);
- крыша, пол – 8% (потенциал 50%);
- трубопровод, арматура – 2% (потенциал 5%).

В Беларуси с 1994 г. были введены новые нормативы на термические сопротивления строительных ограждающих конструкций (стен, крыш, перекрытий, окон, дверей и т.д.) зданий и сооружений. Исследования показывают, что существенную экономию - до 14%-тепловой энергии в здании можно получить при увеличении термосопротивления наружных стен в 2–2,5 раза. Дальнейшее его увеличение, а также увеличение термосопротивления оконных, дверных проемов для зданий с естественной вентиляцией, которая характерна для жилого фонда республики, экономически неоправданы: значительно возрастают энергозатраты на вентиляцию, горячее водоснабжение, тепловые потери через окна, балконные двери, нарушаются санитарно-гигиенические нормы воздухообмена. Потребление тепловой энергии зданием зависит от его геометрических размеров, этажности, площади остекления наружной поверхности, теплофизических характеристик и размеров строительных и инженерных конструкций. Сегодня в республике пересмотрены подходы к объемно-планировочным решениям возводимых зданий и сооружений с целью сокращения энергопотерь во время эксплуатации. Новые жилые здания с повышенным *термосопротивлением наружных стен и проемов должны оборудоваться сбалансированной вентиляцией, установками утилизации тепла отработанного воздуха и горячей воды, контрольно-регулировочной аппаратурой потребления тепла и воды.*

В настоящее время все в большей мере практикуется осуществление тепловизионного (с использованием инфракрасной съемки) контроля качества строительно-монтажных работ, что позволяет предотвратить некачественное выполнение работ в местах, в которых возможна наибольшая утечка тепла.

В белорусских городах осуществляются работы по реконструкции модернизации, капитальному ремонту и термической реабилитации, т.е. санации ранее выстроенных зданий. Санация в части термореабилитации означает повышение теплозащиты зданий путем теплоизоляции стен минеральной ватой и пенопластом, утепление крыш, полов, замену оконных блоков, остекление балконов, модернизацию систем вентиляции, реконструкцию и автоматизацию теплоузлов, установку индивидуальных регуляторов тепла в квартирах и в комнатах, экономичных осветительных приборов, счетчиков тепла и воды. Обследование состояния зданий и сооружений с последующей энергетической паспортизацией позволяет выявить потенциал энергосбережения.

**Тепловая изоляция зданий и сооружений.** Проблеме получения теплых и, соответственно, энергосберегающих конструкций в последние годы в нашей стране уделяется все больше внимания. Они должны быть, во-первых, прочными, жесткими и воспринимать нагрузки, то есть быть несущей конструкцией, а

во-вторых, должны защищать внутреннее пространство от дождя, жары, холода и других атмосферных воздействий, то есть обладать низкой теплопроводностью, быть водостойкими и морозоустойчивыми.

В природе не существует материала, который удовлетворял бы двум этим требованиям. Для жестких конструкций идеальным материалом является металл, бетон или кирпич. Для утепления годится только эффективный утеплитель, например, каменная вата. Поэтому для того, чтобы ограждающая конструкция была прочной и теплой, используют композицию или комбинацию как минимум двух материалов – конструкционного и теплоизоляционного.

Композиционная ограждающая конструкция в свою очередь может быть представлена в виде нескольких отличных друг от друга систем и конструкций:

1. Жесткий каркас с заполнением межкаркасного пространства эффективным утеплителем.

2. Жесткая ограждающая конструкция (например, кирпичная или бетонная стена), утепленная со стороны внутреннего помещения, или так называемое внутреннее утепление.

3. Две жесткие пластины и эффективный утеплитель между ними, например, «колодезная» кирпичная кладка, железобетонная панель «сэндвич» и т. д.

4. Тонкая ограждающая конструкция (стена) с утеплителем с внешней стороны, так называемое внешнее утепление.

Теплоизоляционные системы, применяемые для наружной теплоизоляции, подразделяются на системы:

- с тонкими штукатурными и накрывочными слоями;
- с толстыми штукатурками (до 30 мм);
- «сухой теплоизоляции»;
- монолитной теплоизоляции (утепление пенополиуретаном, покрытие «термошиль-дом»);
- из ячеистого бетона с объемной массой ниже  $400 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Применение той или иной системы определяется конструктивными особенностями модернизируемого здания и технико-экономическими расчетами, основанными на приведенных затратах, так как стоимость **утепления 1 м<sup>2</sup> наружной стены колеблется от 15 до 50 долларов США** без учета стоимости заполняемых оконных блоков, модернизации систем вентиляции и отопления. Тем не менее, потенциал энергосбережения при эксплуатации существующего жилого фонда достаточно велик и составляет около 50 %.

Каждая из этих конструкций имеет свои достоинства и недостатки, и выбор ее зависит от многих факторов, исходя из местных условий. Но из всех названных конструкций четвертый тип утепления здания с внешней стороны хотя и имеет недостатки, но и обладает следующими достоинствами:

1. Надежная защита от неблагоприятных внешних воздействий суточных и сезонных температурных колебаний, которые ведут к неравномерным деформациям стен, что приводит к образованию трещин, раскрытию швов, отслоению штукатурки.

2. Невозможность образования какой-либо поверхностной флоры на по-

верхности стены из-за избытка влажности, образования льда в толще стены, который имеет место из-за конденсационной влаги, поступающей из внутренних помещений, и влаги, проникшей внутрь массива ограждающих конструкций из-за повреждения поверхностного защитного слоя.

3. Препятствование охлаждению массива ограждающей конструкции до температуры точки росы и, соответственно, выпадению конденсата на внутренних поверхностях.

4. Снижение уровня шума в изолируемых помещениях.

5. Отсутствие зависимости температуры воздуха во внутренних помещениях от ориентации здания, то есть от нагрева поверхностей солнцем и охлаждения этих же поверхностей ветром, и др.

Для устранения теплопотерь в ранее построенных зданиях разработаны и осуществляются различные проекты теплотехнической реконструкции и утепления их. Одним из таких проектов является устройство *термошубы*, представляющей собой многослойную конструкцию. «Термошуба» устраивается по наружным стенам разной конструкции, из различных материалов (кроме деревянных) и с разной отделкой фасадной поверхности и соответствует требованиям пожарной и экологической безопасности.

**Характеристики остекления.** Оконные заполнения в зданиях, обладая необходимыми теплозащитными качествами, должны обеспечивать требуемый световой комфорт в помещении и иметь достаточную воздухопроницаемость для естественной вентиляции.

Действующие нормативы устанавливают следующие требования к окнам жилых зданий:

- сопротивление теплопередаче должно быть не менее  $0,6 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)}/\text{Вт}$ , сопротивление воздухопроницанию – не менее  $0,56 \text{ м}^2\cdot\text{ч Па}/\text{кг}$ ;

- механические показатели и другие требования – в зависимости от конструкции и материалов, из которых изготовлен оконный блок.

По конструкции все окна состоят из светопропускаемых и непрозрачных частей. В качестве заполнения светопропускаемой части окон используют стеклопакеты и стекла различной толщины. Наиболее широкое распространение среди стекол получили так называемые специальные энергосберегающие стекла:

- «к-стекло», получаемое посредством разлива стеклянной массы на жидкую основу с большим удельным весом. Для придания ему теплосберегающих свойств на его поверхности методом пиролиза создается тонкий слой из оксида металла, что приводит к уменьшению излучательной способности с 0,84 до 0,2, а следовательно, к меньшей теплопередаче;

- «i-стекло», получаемое методом вакуумного напыления и представляющее собой трех- или более слойную структуру чередующихся слоев серебра и диэлектрика. По своим теплосберегающим качествам это стекло в 1,5 раза превосходит «к-стекло». Однако технология нанесения требует использования дорогостоящего оборудования с системой магнетронного (магнетрон - электровакуумный прибор) напыления.

Применяемые ныне окна можно условно разделить на три группы:

- деревянные окна;
- окна из поливинилхлоридного профиля (ПВХ профиля);
- окна из алюминиевого профиля.

*Деревянные окна* выпускаются в основном двух видов:

– оконные блоки типа ОЗС с толщиной коробки 100-140 мм с тройным остеклением или стеклом и стеклопакетом отечественного производства. Сопротивление теплопередаче их может достигать  $0,8 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$ , а сопротивление воздухопроницаемости –  $0,6-1,4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч Па}/\text{кг}$ , что значительно меньше, чем у окон алюминиевого и ПВХ профилей;

– оконные блоки толщиной коробки менее 100 мм с однокамерным или двухкамерным стеклопакетом (возможно наличие энергосберегающих покрытий и заполнение межкамерного пространства аргоном). Они имеют высокое качество изготовления, створки их могут открываться в разных плоскостях, а проветривание имеет различный режим. Эти окна самые дорогие, поскольку они очень высокого качества, а часть из них импортируется из Финляндии, Германии или Швеции. Древесина обрабатывается специальной защитной пропиткой от влаги, насекомых и воздействия солнца. В окнах весьма точная подгонка деталей, коробка и створки со временем почти не дают усадки. Сопротивление теплопередаче составляет  $0,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$ , сопротивление воздухопроницанию весьма велико – до  $7 \text{ м}^2 \cdot \text{ч Па}/\text{кг}$ .

Окна из *ПВХ-профиля* с различными видами стекол и стеклопакетов находят широкое распространение в административных зданиях. В конструкции ПВХ профиля имеется два и более специальных воздушных зазоров, так называемых камер.

Наибольшее распространение получили трехкамерные ПВХ-профили. Сопротивление теплопередаче по непрозрачной части окон с таким профилем составляет  $0,6-0,75 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$ .

В качестве светопропускающей части используются, как правило, однокамерные и двухкамерные стеклопакеты с применением энергосберегающих стекол (в основном - «к-стекло»). Для повышения сопротивления теплопередаче основных блоков пространство между стеклами в стеклопакете заполняется инертными газами, в основном аргоном.

Окна из трехкамерного ПВХ-профиля имеют очень высокое сопротивление воздухопроницанию (до  $9 \text{ м}^2 \cdot \text{ч Па}/\text{кг}$ ), что ограничивает использование их в жилых зданиях. Для решения этой проблемы фирмы предлагают различные варианты (вентиляционные клапаны, специальное положение ручки, установку в верхней части оконных коробок или створок специальных вентиляционных пленок с регулируемой системой для притока воздуха), однако они недостаточно проверены экспериментально.

Основные преимущества этих окон заключаются в простоте монтажа и герметичности, возможности открытия створок в нескольких плоскостях.

Окна из *алюминиевого профиля* также находят все большее применение. В основном это трехкамерный алюминиевый профиль с термопрокладками. Такие

оконные блоки имеют низкое сопротивление теплопередаче — 0,35-0,42 ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )/Вт, вследствие чего в холодный период года возникает конденсация влаги на внутренних поверхностях профиля. Для достижения этими оконными блоками требуемого сопротивления теплопередаче необходим стеклопакет. Эти оконные блоки имеют очень высокое сопротивление воздухопроницанию, что ограничивает их применение в зданиях с естественной вентиляцией. Окна из алюминиевого профиля дороже других типов окон, и потребитель вправе решать, какие из них являются более приемлемыми.

При любой конструкции окон площадь световых проемов должна быть минимально допустимой по нормам естественной освещенности.

Наибольший эффект достигается использованием в стеклопакете одного из стекол с селективным покрытием, способным отражать тепловые волны внутрь помещения и одновременно пропускать снаружи солнечное тепловое излучение. Только за счет применения в стеклопакете такого стекла, а также введения в межстекольное пространство более плотного, чем воздух, газа, например аргона, криптона или ксенона, можно добиться величины термического сопротивления, приближающегося к единице. Отдельные примеры из зарубежной практики свидетельствуют о том, что соответствующие конструктивные решения окон, и прежде всего их стеклянной части, смогут способствовать достижению термического сопротивления теплопередаче, равному 1,8-2,0 ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )/Вт.

Стеклопакет представляет собой соединенные на определенном расстоянии друг от друга 2 или 3 стекла. В качестве материала, обеспечивающего требуемое между стеклами расстояние, применяется алюминиевый перфорированный профиль коробчатого сечения (средник), внутрь которого засыпается зернистый осушитель воздуха - силикогель. Профиль крепится к стеклам с помощью бутиловой массы (внутренний шов), а по торцам образованного стеклопакета укладывается прочная полисульфидная масса (наружный шов). Известен также метод, когда промежуточное пространство (средник) заполняется при помощи бутиловой резиновой ленты, упрочненной металлом.

Жидкие герметики сохраняют свои технические свойства при температуре от минус 50 до плюс 120 °С. Герметик не твердеет, не разрушается, улучшает звукоизоляционные свойства окон, а эксплуатационный гарантийный срок его составляет 5-10 лет.

## 10.2. Энергосбережение при освещении

На освещение в Беларуси расходуется 10 – 13% от общего потребления электроэнергии. Анализ структуры потребления по отраслям показывает, что на промышленность приходится 29%, жилищный сектор – 26%, административные и общественные здания -20%. Уличное освещение – 12% всего объема потребления. Таким образом, 80-90% электроэнергии на нужды освещения расходуется на территории городов и населенных пунктов. В организации энергоэффективного освещения городских объектов производственной и непроизводственной сферы, жилых зданий, территорий городов, имеется значительный по-

тенциал энергосбережения за счет перехода к энергоэффективному освещению.

Энергоэффективное освещение означает устройство систем освещения и организацию их функционирования таким образом, чтобы при обеспечении требуемых нормами количественных и качественных характеристик освещения потреблялось минимальное количество электроэнергии. Исполнение этих условий закладывается в первую очередь при проектировании освещения путем рационального сочетания естественного света через световые проемы и искусственного – от осветительных установок, общего и локального освещения, выбора оптимальной схемы электрической сети освещения, количества, типов и мощности источников света, их размещения, выбора светильников и пускорегулирующей аппаратуры. Сочетание хорошего естественного освещения за счет оптимальных количества, размещения, размеров оконных проемов, фонарей в потолочных перекрытиях и регулируемого искусственного освещения может обеспечить энергосбережение до 30-70%. Потребность в искусственном освещении уменьшается при светлых интерьерах в помещениях, которые создают ощущение более светлого пространства.

Сокращение расхода электроэнергии возможно также следующими основными путями:

- снижением номинальной мощности освещения;
- уменьшением времени использования светильников.

**Снижение номинальной (установленной) мощности освещения** в первую очередь означает переход к более эффективным источника света, дающим нужные потоки при существенно меньшем энергопотреблении. Такими источниками могут быть *компактные люминесцентные лампы*. В общественных зданиях также можно применять более эффективные светильники.

**Уменьшение времени использования светильников** достигается внедрением современных систем управления, регулирования и контроля осветительных установок. Применение *регулируемых люминесцентных светильников* позволяет эксплуатировать их при сниженной (по сравнению с номинальной) мощности. А это значит, что при неизменной установленной мощности освещения снижается фактически потребляемая мощность и энергопотребление.

**Управление осветительной нагрузкой** осуществляется двумя основными способами:

- отключением всех или части светильников (дискретное управление);
- плавным изменением мощности светильников (одинаковым для всех или индивидуальным).

К системам дискретного управления, в первую очередь, относят различные *фотореле (фотоавтоматы) и таймеры*. Принцип действия первых основан на включении и отключении нагрузки по сигналам датчика наружной естественной освещенности. Вторые осуществляют коммутацию осветительной нагрузки в зависимости от времени суток по предварительно заложенной программе. К системам дискретного управления освещения относятся также *автоматы, оснащенные датчиками присутствия* (рис. 10.1). Они отключают светильники в помещении спустя заданный промежуток времени после того, как из его удаля-

ется последний человек. Это наиболее экономичный вид систем дискретного управления, однако к побочным эффектам их использования относится возможное сокращение срока службы ламп за счет частых включений и выключений.

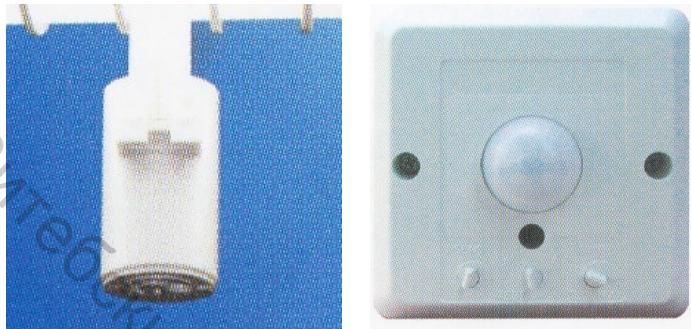


Рис. 10.1. Датчики: уровня освещенности и движения ООО «Трепласт» г. Брест

В последнее десятилетие многими зарубежными фирмами освоено производство оборудования для автоматизации управления внутренним освещением. Современные системы сочетают в себе значительные возможности экономии электроэнергии с максимальным удобством для пользователей.

**Системы автоматического управления освещением** можно разделить на два основных класса: локальные и централизованные.

Локальные системы управления освещением помещений представляют собой блоки, размещаемые за полостями подвесных потолков или конструктивно встраиваемые в электрораспределительные щиты. Системы этого типа, как правило, осуществляют одну функцию либо их фиксированный набор. В число этих функций входит, например, учет присутствия людей и уровня естественной освещенности в помещении, а также работа с системами беспроводного дистанционного управления. Локальные «системы управления светильниками» в большинстве случаев не требует дополнительной проводки, а иногда даже сокращают необходимость в прокладке проводов. Конструктивно они выполняются в малогабаритных корпусах, закрываемых непосредственно на светильниках или на колбе одной из ламп.

Централизованные системы управления освещением, наиболее полно отвечающие названию «интеллектуальных», строятся на основе микропроцессоров, обеспечивающих возможность практически одновременного многовариантного управления значительным (до нескольких сотен) числом светильников. Такие системы могут применяться либо для управления освещением, либо также и для взаимодействия с другими системами зданий (например, с телефонной сетью, системами безопасности, вентиляции, отопления и солнцезащитных ограждений).

В настоящее время повышенным вниманием со стороны потребителей пользуются **энергосберегающие светильники и светотехнические изделия**. Обладая улучшенными потребительскими качествами (повышенная светоотдача, комфортный по спектру и не утомляющий зрение немеркнущий свет и др.), современные энергосберегающие светильники отвечают всем требованиям по экономичности и надежности в эксплуатации.

В таблице 10.1 перечислены применяемые сегодня типы ламп и даны их некоторые характеристики, а на рис. 10.2 показаны некоторые из них.

**Энергосберегающие светильники и светотехнические изделия** подраз-

деляются на три группы:

1. Светильники люминесцентные
2. Светильники галогенные
3. Светильники специального назначения.

Люминесцентные светильники с электронным пускорегулирующим аппаратом (ОПРА) могут использоваться в подвесном и потолочном исполнении и имеют следующее *преимущество*:

– экономия электроэнергии до 30 % по сравнению с питанием от электромагнитного пускорегулирующего аппарата (ЭмПРА) и шестикратная экономия электроэнергии по сравнению с аналогичной лампой накаливания;

Таблица 10.1

Перечень используемых в сегодняшнее время ламп

Тип лампы	Характеристики
1. Накаливания	Световая отдача – 7-20 Лм/Вт (5%); ПД – 10-13%; срок службы – 800-1000 ч.; просты в изготовлении; не нужно пускорегулирующих аппаратов (ПРА).
1.2. Накаливания галогенные энергосберегающие	Световая отдача – 20-30 Лм/Вт (13 - 25%); энергопотребление в 2-2,5 раза меньше, чем у ламп накаливания, лучший спектр излучения; для локального и общего освещения жилых и административных помещений, офисов, рабочих мест.
2 Газоразрядные	Световая отдача в 2-3 раза выше, чем у ламп накаливания, лучше цветопередача, срок службы в 5-10 раз выше, более экономичны, но дороже, нужны ПРА.
2.1. Люминесцентные	Световая отдача – до 60 Лм/Вт, экономичнее ламп накаливания в 2,5-3 раза, более гигиеничный спектр, срок службы - 5000 ч., пожаро-безопасные.
2.2. Люминесцентные компактные	Энергопотребление в 6-7 раз меньше, чем у ламп накаливания при одинаковой освещенности, пока относительно дороги.
2.3. Натриевые низкого давления	Световая отдача - 140-180 Лм/Вт (27%); недостатки: большие размеры, монохроматический свет, что ограничивает применение.
2.4. Натриевые высокого давления	Световая отдача - 100-120 Лм/Вт (29%); широкий диапазон применения от уличного освещения до освещения промышленных зданий.
2.5. Ртутные высокого давления	Световая отдача – 44-57 Лм/Вт (15%), высокая единичная мощность.
2.6. Металлогалоидные высокого давления	Световая отдача – 85-100 Лм/Вт (23%), благоприятный спектр излучения.

- увеличение срока службы лампы на 20 % и более за счет оптимального режима с плавным подогревом нитей накала (катодов);
- гарантийное мгновенное включение без дополнительного стартера и бесшумная работа;
- ровный, без мерцания свет, не утомляющий зрение при длительной нагрузке благодаря высокочастотному функционированию люминесцентных ламп;
- отсутствие стробоскопического эффекта - зрительной иллюзии, возникающей в случаях, когда наблюдение какого-либо предмета или картины осуществляется не непрерывно, а в течение отдельных, периодически следующих один за другим интервалов времени;
- отсутствие электромагнитных помех.



*Рис. 10.2. Примеры ламп (Электротехпром г. Минск):  
а-натриевая высокого давления, б-ртутная высокого давления, в-галогенная зеркальная, г-компактные люминесцентные*

зеркальной решеткой и отраженного света.

Галогенные светильники по способу установки выпускаются потолочными, настенными и настольными и используются для локально-местного освещения жилых и административных помещений, офисов, рабочих мест, для фоновой подсветки витрин, экспозиций, стендов. Они обеспечивают освещение любой заданной зоны помещения с помощью шарнирного крепления плафона лампы к корпусу.

В качестве источника света в светильниках применяются *галогенные лампы* мощностью 20 Вт, которые имеют целый ряд существенных преимуществ

по сравнению с обычными лампами накаливания:

- снижение потребления электроэнергии в 2-2,5 раза;
- стабильность светового потока в течение срока службы;
- яркость света, обеспечивающего великолепную цветопередачу и возможность создания разнообразных цветовых эффектов;
- увеличение в 2 раза срока службы по сравнению с обычными лампами накаливания;
- компактность.

Светильники специального назначения серии ИВУ с галогенными лампами мощностью 20 или 50 Вт предназначены для непосредственной установки на поверхности из сгораемого материала, а также рекомендуются для установки в бассейнах, фонтанах, аквариумах, причальных сооружениях, в помещениях с противопожарными установками, в душевых, в химчистках, на садовых участках, на стоянках автомобилей, пешеходных дорожках, лестницах, подземных переходах, на автоматических мойках машин, в мастерских и рыбных магазинах.

Светильники серии ФБУ и ИБУ предназначены для освещения как внутри, так и вне помещений - там, где требуется максимальная защита от воды, влажности, пыли и хулиганов. Антивандальные светильники устойчивы к механическим повреждениям, ударам камнями и любыми твердыми предметами. Они незаменимы при освещении садов, бульваров, пешеходных переходов, террас, портиков, бассейнов, душевых и ванных комнат, туалетов и т. д.

Важное значение в экономии электроэнергии при применении любых ламп имеет оптимальное размещение осветительных приборов, позволяющее экономить до 20 % электроэнергии. Так, при наличии в одном помещении рабочих и вспомогательных зон следует предусматривать локализованное общее освещение рабочих зон и менее интенсивное – вспомогательных зон. Для освещения цехов, складов и других производственных помещений лучшим способом является устройство светящейся линии. Важно, чтобы при проектировании и внедрении любой системы освещения обеспечить среду для зрения, рекомендуемую санитарными нормами:

- 400-500 лк;
- спектральный состав света, максимально приближенный к естественному освещению;
- отсутствие пульсаций и слепящего действия света;
- равномерное распределение яркости.

Одним из экономичных источников для освещения улиц, площадей, скоростных магистралей, транспортных пересечений, протяжных тоннелей, спортивных сооружений, аэродромов, строительных площадок, архитектурных сооружений, вокзалов, аэропортов и др. являются *натриевые лампы высокого давления*, обладающие самой высокой световой отдачей среди всех известных газоразрядных ламп и незначительным снижением светового потока при длительном сроке службы.

Особая область применения натриевых ламп – это *облучение растений* в

*теплицах*. Имея благоприятный для большинства тепличных культур спектр излучения, натриевые лампы являются достойной заменой ртутных и металлогалогеновых ламп высокого давления. В отличие от ртутных ламп натриевые лампы не содержат ртути, что значительно расширяет область их применения. Сопоставление по экономичности их работы в течение 10 000 часов показывает, что экономия составляет более 30 %. а срок окупаемости, исходя из эксплуатации их примерно в 12 час в день (8 часов в летнее время и 16 - в зимнее), составит около 2 месяцев.

Основными производителями светильников и светотехнического оборудования к ним являются: БелОМО им. С. Вавилова, Брестский электроламповый завод, Лидский завод электроизделий, ГП «Калибр», ООО «Электрет», АО «ЭНЕФ», ГП «Минский завод Термопласт», НПО «Интеграл», ЧАО «Торговый сервис».

## 10.3. Теплоснабжение

### 10.3.1. Реконструкция и модернизация систем централизованного теплоснабжения

На цели отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в Республике Беларусь расходуется 40% от общего потребления топлива. Потенциал энергосбережения, по оценкам отечественных и зарубежных экспертов, в системах теплоснабжения республики составляет около 50%. Следовательно, за счет энергосберегающих мероприятий можно снизить потребление топлива на нужды теплоснабжения на 20% от его общего потребления республикой. Именно поэтому одной из приоритетных задач действующей Государственной программы «Энергосбережение» является совершенствование теплоснабжения.

В Беларуси, как и во всех странах СНГ, в силу проводившейся в советские времена технической политики применяются в основном системы централизованного теплоснабжения, находящиеся сегодня в крайне неудовлетворительном состоянии. Часто происходят аварии, что приводит к перерывам теплоснабжения, значительному материальному ущербу, опасности для жизни людей из-за провалов грунта в теплосетях, взрыва котельного оборудования и т.п. Такое положение объясняется следующими причинами:

– эксплуатацией элементов систем теплоснабжения: оборудования ТЭЦ, котельных, тепловых сетей – в течение 25–35 лет и более, что намного превышает их расчетные сроки службы;

– низким качеством конструкций, строительства, монтажа и эксплуатации;

Основными элементами систем теплоснабжения являются:

- источники тепла, в основном ТЭЦ и котельные;

- магистральные и внутриквартальные тепловые сети, по которым с помощью насосных станций осуществляется транспорт теплоносителей и распределение тепловой энергии потребителям через центральные или индивидуальные тепловые пункты;

- потребители тепловой энергии в виде пара, горячей воды, воздуха.

Для реализации указанного выше потенциала энергосбережения теплоснабжения республики необходима одновременная согласованная оптимизация теплопотребления во всех элементах систем теплоснабжения при координации организационно-экономических и технических мероприятий. К приоритетным направлениям оптимизации относятся:

- *реконструкция и модернизация систем централизованного теплоснабжения;*
- *децентрализация теплоснабжения;*
- *регулирование режимов теплопотребления во всех элементах систем теплоснабжения.*

*Реконструкция и модернизация* находящихся в эксплуатации систем централизованного теплоснабжения требует существенных инвестиций и трудозатрат и должна проводиться в отношении источников тепла путем замены устаревшего оборудования, переоборудования котельных в мини-ТЭЦ, применения парогазового цикла, газотурбинных установок и других прогрессивных технологий, в отношении тепловых сетей, где теряется 20-40% транспортируемого тепла, в отношении потребителей посредством санации жилого фонда, внедрения энергосберегающих технологий в промышленности, модернизации схем теплоснабжения, учета и контроля потребления тепла. Кроме энергосберегающего эффекта эти меры сократят выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, снижают аварийность работы систем теплоснабжения, повысят комфортность в жилых и производственных помещениях. Каждый город Беларуси имеет программу модернизации своего теплоснабжения.

Централизованное теплоснабжение требует разветвленных сетей трубопроводов, требующих значительных затрат на текущее обслуживание, профилактику предупреждения аварий, замену устаревших, изношенных участков. В настоящее время внедряются методы обследования и оперативного контроля состояния тепловых сетей путем дистанционного зондирования современными тепловизионными системами и диагностической аппаратурой, включая тепловую аэрофотосъемку, создаются базы данных для определения мест повышенных теплопотерь, проведения планово-ремонтных работ. Проблема потерь тепла в тепловых сетях может быть решена только с помощью эффективной теплоизоляции теплопроводов. Прогрессивным решением является применение предизолированных пенополиуретановой теплоизоляцией труб, а также гибких труб (см. глава 5).

Централизованное теплоснабжение, как правило, предполагает подключение к ЦТП через элеваторный узел трубопроводов систем отопления и систем горячего водоснабжения группы зданий, что практически не позволяет производить регулирование количества потребляемой тепловой энергии. Большие возможности в отношении регулирования, а также в отношении учета и контроля потребления обеспечивает вариант централизованного теплоснабжения жилых и общественных зданий с устройством для них индивидуальных тепловых пунктов с целью создания независимой системы приготовления горячей воды и подачи тепла на отопление.

### **10.3.2. Децентрализация и регулирование теплоснабжения**

Важнейшим направлением совершенствования теплоснабжения городов считается *разумная степень его децентрализации*, что означает строительство на газе, жидкое топливе, электроэнергии новых теплоисточников, приближенных к потребителю тепла, или переход на автономные источники теплоснабжения. Децентрализация теплоснабжения позволяет:

- уменьшить потери тепла до 40% за счет полного отказа от наружных тепловых сетей или сокращения их протяженности;
- сократить до 15% потери тепла за счет более полного соответствия режимов производства тепла и его потребления;
- сократить затраты на теплоснабжение в сравнении с затратами, необходимыми для строительства, обслуживания и ремонта новых теплосетей, ремонта действующих сетей и теплогенераторов;
- снизить потери энергии и аварийность в системах теплоснабжения; статистика свидетельствует, что 99% аварий происходит в тепловых сетях, а не на ТЭЦ и в котельных.

В республике децентрализация теплоснабжения осуществляется путем перехода к автономным системам, использованию встроенных и пристроенных к зданию котельных, автоматизированных местных блочных или блок-модульных котельных полной заводской готовности, крыщных котельных. На промышленных предприятиях в мини-ТЭЦ реконструируются бывшие котельные или вводятся новые заводские ТЭЦ. Внедрение автономных источников энергии в жилищно-коммунальном секторе позволяет решить проблему независимого жизнеобеспечения этого сектора экономики, позволяет широко внедрять регулирование энергопотребления непосредственно у потребителей.

Во всех промышленно и энергетически развитых странах наблюдается очень быстрый рост применения **электроотопления**, выполняемого, как правило, путем укладки нагревательных кабелей в пол. Для помещений с постоянным пребыванием людей установлено, что средняя температура подогреваемого пола не должна превышать 26°C, а для дорожек вокруг бассейнов – не более 30 °C. Одной из таких систем электроотопления является кабельная система Теппллюкс. Она устанавливается в толще пола, что превращает всю обогреваемую поверхность в источник тепла, температура которого лишь на несколько градусов превышает температуру воздуха. Эта система, как и другие, подобные ей, используется как основная в отдельно стоящих зданиях, коттеджах и в тех случаях, когда нет возможности выполнить подключение центрального водяного отопления. Она может применяться как дополнительная система отопления (совместно с другими) для получения комфортной температуры.

Для обеспечения общественных, жилых и производственных помещений дешевым теплом с использованием местных видов топлива экономически выгодно применять воздушное отопление на базе теплогенераторов.

Под воздушным квартирным отоплением следует понимать отопительную систему квартиры с самостоятельным генератором тепла, которая обслуживается жильцами. Таких систем в одном доме может быть несколько, если дом мно-

гоквартирный, и одна, если дом является одноквартирным.

В воздушных системах отопления теплоносителем является воздух, нагретый в воздухонагревателе до температуры, превышающей температуру помещения и определяемой расчетом. От нагревателя подогретый воздух каналами разводится по отапливаемым помещениям, в которых охлаждается до температуры помещения. Воздух отдает свою теплоту для возмещения теплопотерь, после чего поступает обратно в воздухонагреватель.

Воздух в системах перемещается за счет естественного (теплового) или искусственного (вентиляционного) побуждения. Применяются воздухонагреватели, работающие на твердом, жидком, газообразном и комбинированных видах топлива. **Воздухонагреватели** бывают трех типов;

- с нагревом воздуха горячими газами через металлическую стенку (огне-воздушные);
- с нагревом воздуха горячими газами через воду (водовоздушные);
- подсоединенные к тепловым и электрическим сетям.

В квартирных системах при небольшой протяженности воздуховодов используется преимущественно естественное (гравитационное) побуждение движения греющего воздуха как более простое и бесшумное в эксплуатации. При большой протяженности распределительных воздуховодов используются системы воздушного отопления с механическим перемещением греющего воздуха.

Для нагрева 1 м<sup>3</sup> воздуха на 10°C требуется в 4,19 раза меньше тепловой энергии, чем для нагревания такого же количества воды. При этом самое дешевое тепло дают теплогенераторы, в которых сжигается твердое топливо (древа, брикет, торф, отходы деревообработки). Область их применения очень велика: производственные помещения (например, цеха по разливу безалкогольных напитков), магазины, жилые дома, теплицы, сушилки зерна и пиломатериалов и т. п. Такие теплогенераторы выпускает ряд предприятий, и среди них Мозырский завод сельскохозяйственного машиностроения.

В Беларуси системы поквартирного воздушного отопления в многоэтажных жилых домах не получили широкого распространения из-за отсутствия серийного выпуска опробированных конструкций воздухоподогревателей. Второй причиной является возможность использования в многоэтажных много квартирных домах только электроэнергии и газа.

В Республике Беларусь разрабатываются системы отопления, основанные на отоплении мягким инфракрасным излучением, которые, в отличие от конвективного способа обогрева, позволяют снизить на 90 % потребление энергоресурсов. Работа систем основана на принципе преобразования теплоты сгорания газа в тепловые лучи без промежуточных теплоносителей (вода, пар). Источниками инфракрасного излучения служат специальные теплоизлучающие трубы, внутри которых циркулируют высокотемпературные газы низкого давления.

В последние годы в Республике Беларусь различными фирмами производится большое количество энергоэкономичных газогенераторных установок, котлоагрегатов (рис. 10.3), которые предназначены для теплоснабжения зданий

и сооружений, получения горячей воды и пара в различных технологических процессах и для бытовых нужд. Основным топливом для них служат отходы деревообработки, мелочь торфяных брикетов, щепа, кора, лигнин и другие твердые горючие материалы. Преимуществом вышеуказанных агрегатов является их высокий КПД, низкая стоимость, простота конструкций и обслуживания, а также возможность использования дешевых местных видов топлива и отходов промышленности.

Децентрализация энергоснабжения, в том числе теплоснабжения, способствует формированию рынка энергоносителей и конкуренции в области энергообеспечения. Потребитель получает возможность выбора производителя и поставщика энергии.

Эффективным инструментом энергосбережения является согласованное *регулирование теплопотребления*, его учет и контроль во всех элементах системы теплоснабжения, а также внедрение систем автоматического управления системами энергоснабжения и энергопотребления (см. глава 3). Следует отметить, что ресурс и эффективность регулирования в отдельных элементах различны. Как показали исследования, эффект от вложения финансовых средств в системы регулирования теплоисточника, транспорта и распределения потребителям составляет соответственно 30%, 50% и 20%. Поэтому при параллельном внедрении регулирования теплопотребления во всех элементах теплоснабжения приоритетным направлением выбрано внедрение средств регулирования на насосных станциях и тепловых пунктах. Насосное оборудование оснащается регулируемым приводом. Существующие центральные тепловые пункты (ЦТП) реконструируются и оснащаются регуляторами. При новом строительстве присоединение потребителей к тепловым сетям осуществляется по независимым схемам через индивидуальные тепловые пункты (ИТП). В республике с 1995 г. выпускаются блочные ИТП, оборудованные приборами учета, регулирования отпуска тепла, насосами, теплообменниками, контрольно-измерительными приборами и средствами автоматизации. В этих ИТП предусмотрены регулирование температуры обратного теплоносителя, поступающего из системы отопления потребителя, в зависимости от температуры наружного воздуха, регулирование температуры воды горячего водоснабжения, а также возможность перехода на пониженный режим потребления тепла зданием. Последнее мероприятие позволяет экономить до 37% тепла за счет снижения температуры воздуха в нерабочее время (в выходные, праздничные дни, ночью) в зданиях с периодическим пребыванием людей (административные здания, школы, детсады, магазины и т. п.). Использование ИТП - путь к организации учета и регулирования потребления

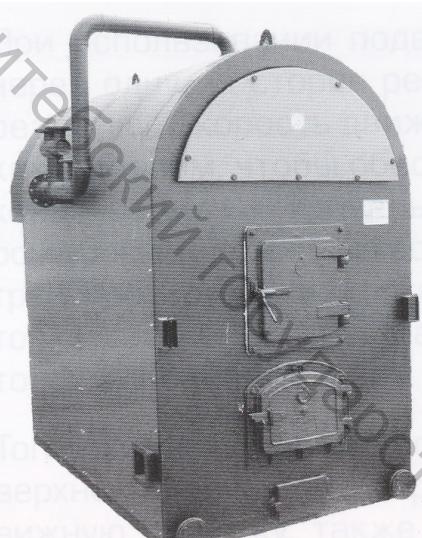


Рис. 10.3. Котел водогрейный твердотопливный (Белкотломаш)

лирования теплоисточника, транспорта и распределения потребителям составляет соответственно 30%, 50% и 20%. Поэтому при параллельном внедрении регулирования теплопотребления во всех элементах теплоснабжения приоритетным направлением выбрано внедрение средств регулирования на насосных станциях и тепловых пунктах. Насосное оборудование оснащается регулируемым приводом. Существующие центральные тепловые пункты (ЦТП) реконструируются и оснащаются регуляторами. При новом строительстве присоединение потребителей к тепловым сетям осуществляется по независимым схемам через индивидуальные тепловые пункты (ИТП). В республике с 1995 г. выпускаются блочные ИТП, оборудованные приборами учета, регулирования отпуска тепла, насосами, теплообменниками, контрольно-измерительными приборами и средствами автоматизации. В этих ИТП предусмотрены регулирование температуры обратного теплоносителя, поступающего из системы отопления потребителя, в зависимости от температуры наружного воздуха, регулирование температуры воды горячего водоснабжения, а также возможность перехода на пониженный режим потребления тепла зданием. Последнее мероприятие позволяет экономить до 37% тепла за счет снижения температуры воздуха в нерабочее время (в выходные, праздничные дни, ночью) в зданиях с периодическим пребыванием людей (административные здания, школы, детсады, магазины и т. п.). Использование ИТП - путь к организации учета и регулирования потребления

тепла в каждом здании. Еще большая экономия энергии достигается при организации пофасадного и поквартирного регулирования жилых домов.

Для расширения диапазона ресурса регулирования очень важны аккумуляторы тепло- и электроэнергии, способные в часы провалов графиков нагрузок в электроэнергетической системе получать и запасать энергию в местах ее преобразования или непосредственного потребления.

Указанные мероприятия по совершенствованию теплоснабжения городов могут быть эффективны только в комплексе с рассмотренной выше тепловой реабилитацией зданий и соблюдением соответствующих теплотехнических норм при новом строительстве.

В качестве одного из первых шагов на пути оптимизации и совершенствования систем теплоснабжения городские программы энергосбережения на нынешнем этапе, как правило, предусматривают обеспечение учета выработки и потребления тепловой энергии, внедрение автоматического регулирования в системах отопления и горячего водоснабжения. Тепловые пункты и тепловые насосные станции оснащаются современными приборами учета. Производится массовая установка теплосчетчиков на водах теплосетей в жилые дома и общественные здания.

#### **10.3.3. Теплоснабжение производственных зданий**

Теплоснабжение *производственных помещений (цехов)* всегда считалась задачей неординарной, поскольку они, как правило, занимают огромные площади (от нескольких сотен до нескольких тысяч квадратных метров) и высоту до 14-18 м. Рабочая (обитаемая) зона производственных зданий составляет всего 20-30 % их общего объема, которые и требуют поддержания комфортных условий. Нагрев 70-80 % воздуха, находящегося над рабочей зоной, относится к прямым потерям. Всем известно, что удержать теплый воздух внизу невозможно и температура его от пола к потолку возрастает на 1,5 °С в расчете на метр высоты. Это значит, что в зданиях высотой 12 м при средней температуре в рабочей зоне 15 °С воздух под крышей оказывается нагретым до 30 °С. Такой перегрев внутреннего воздуха зданий приводит к резкому возрастанию тепловых потерь через наружные ограждения, верхние перекрытия, стены, световые проемы и фонари.

К этому следует добавить и большие затраты энергии на перемещение значительных масс воздуха с помощью вентиляторов, поскольку основным способом отопления производственных помещений являлось воздушное. Отопить даже среднее производственное помещение с помощью водяной или паровой системы весьма проблематично и в большинстве случаев невозможно. Для этого требуются десятки километров трубопроводов, которые перекрывают проходы и создают другие неудобства.

Вместе с удалением нагретым воздухом из верхней зоны промышленных зданий с помощью вытяжных крыщных вентиляторов выбрасывается большое количество теплоты. Для ее утилизации целесообразно применять крышные приточно-вытяжные установки с теплоутилизаторами.

Значительны потери тепла в производственных зданиях и сооружениях в зависимости от принятого режима работы предприятий в течение суток и дней месяца.

Как, правило, большинство из них работают в две смены, а это означает, что количество рабочего времени за отопительный сезон составляет около 5000 часов, из которых собственно рабочими являются не более 2300 часов, или 44 % календарного времени. Все остальные 2700 часов предприятия вынуждены отапливать здания, в которых никто не работает.

Перевод системы отопления в дежурный режим сложен, малоэффективен и небезопасен из-за возможных резких перепадов температур, создающих



Рис. 10.4. Агрегат вентиляционный теплоутилизационный

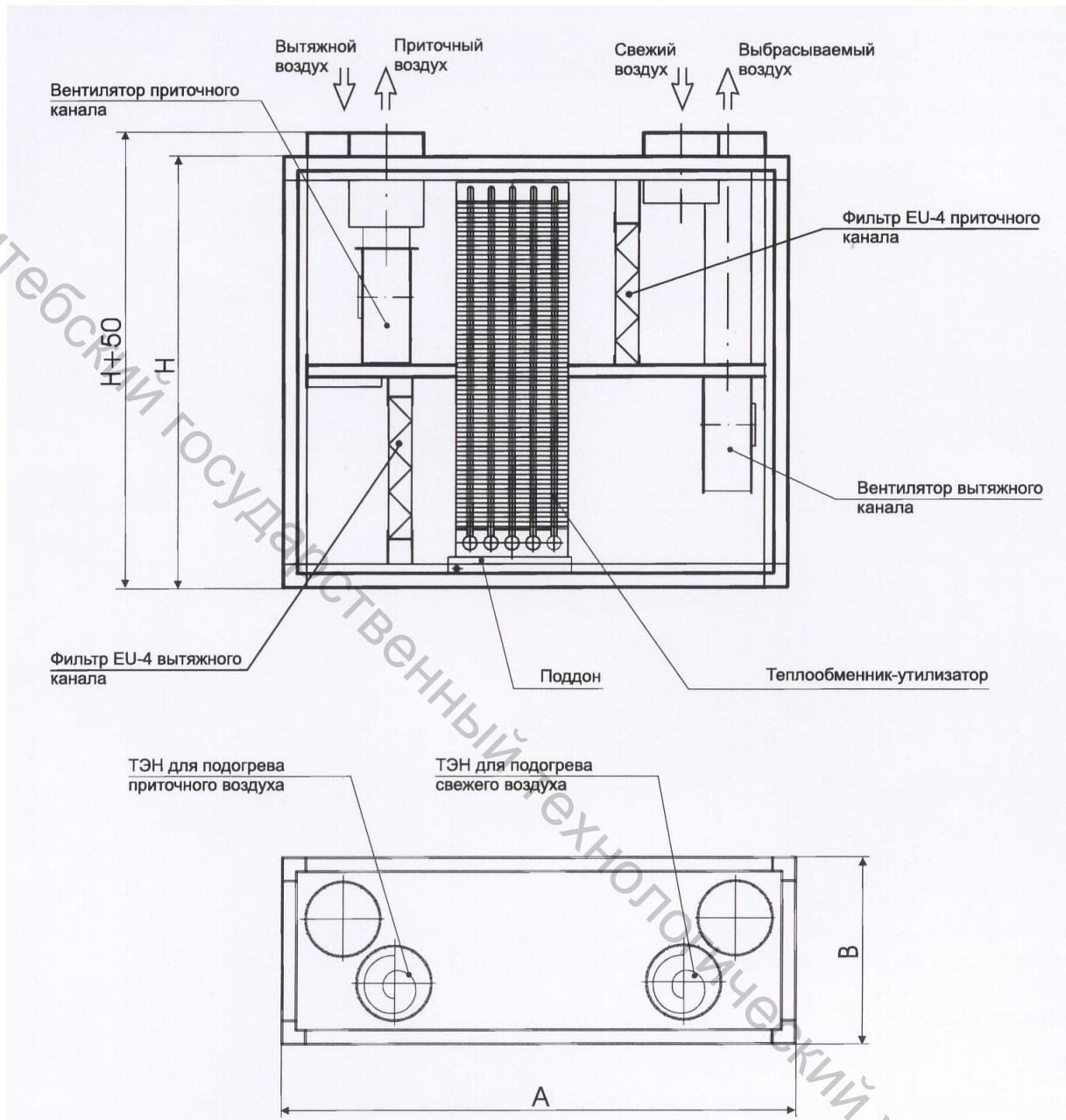
угрозу размораживания системы из-за возможных высоких суточных колебаний температуры.

Одним из возможных путей решения проблемы уменьшения тепла на отопление больших производственных зданий может быть децентрализация системы теплоснабжения их по теплоносителю, воде и пару за счет внедрения систем газового лучистого отопления (СГЛО) и газовых воздухонагревателей. Лучистое отопление – это передача тепла от более нагретых поверхностей к менее нагретым посредством инфракрасного излучения. Главной отличительной особенностью этой системы является обогрев помещения с помощью потока лучистой энергии инфракрасного спектра. Поток лучистой энергии, направляемый в расположенный непосредственно над обогреваемой зоной лучистыми обогревателями, не нагревая окружающий воздух, нагревает поверхность пола, установленное оборудование в обслуживаемой зоне и людей. Это принципиальное отличие системы ГЛО от радиационных систем отопления позволяет достигать наиболее полного комфорта для работников.

Для снижения затрат теплоты на нагрев воздуха, поступающего через проемы в стенах общественных зданий, а также для многоэтажных жилых домов применяют воздушно-тепловые завесы. Во многих случаях целесообразно устройство тамбура.

На рис. показан агрегат вентиляционный теплоутилизационный (рис. 10.4) ООО «Альтернатива» г. Брест, предназначенный для использования в системах

принудительно - приточной вытяжной вентиляции, а на рис. 10. 5. схема его действия.



*Рис. 10.5. Схема работы агрегата вентиляционного теплоутилизационного*

#### 10.4. Экономия энергии в быту

Потребление **электроэнергии** в быту с каждым годом увеличивается, и эта тенденция сохранится, поскольку население в последние годы активно приобретает бытовую технику (стиральные машины, кухонные комбайны, пылесосы, электрочайники, электромясорубки, электрокофеварки и т. д.), являющуюся одним из главных потребителей электроэнергии в домах и квартирах.

Использование электроэнергии в квартирах можно условно разделить на следующие подгруппы:

- обогрев помещений;
- охлаждение и замораживание;
- освещение;
- стирка белья и мойка посуды (с помощью стиральных машин ).
- аудио- и видео аппаратура;
- приготовление пищи (с помощью электроплит);
- использование других электроприборов (пылесосов, утюгов, фенов и т.д.).

В различных домах использование электроэнергии по каждой из вышеперечисленных категорий может варьироваться. Например, в некоторых домах установлены электрические плиты, в других – газовые, для поддержания оптимальной температуры в одной квартире достаточно центрального отопления, в другой - никак не обойтись без электронагревателя.

Мерами по рачительному использованию электроэнергии в быту могут быть:

1. Выключение света в том случае и в тех местах, где он не нужен, без ухудшения жизненного комфорта. Это правило должно быть обязательным для всех членов семьи.

2. Замена, где возможно, обычных ламп накаливания энергосберегающими, которые обеспечивают такое же количество света, потребляя при этом на 70-80 % энергии меньше, и горят в 5-6 раз дольше обычных.

3. Установка ламп разной мощности, в зависимости от требуемого количества света в определенных местах. Следует знать, что при загрязнении ламп и плафонов освещенность в квартире снижается на 10-15 %.

4. Отключение тех электроприборов, для которых предусмотрено дистанционное управление (телевизор, радиотелефон), не только на ночь, но и в тот период, когда ими не пользуются (уход из дома по делам, перерыв и т. п.), поскольку они потребляют электроэнергию, будучи подключенными к сети.

5. Использование стиральной машины при полной загрузке, настраивая ее на как можно меньшую температуру. Следует помнить, что на стирку при температуре + 90 °C тратится в 3 раза больше энергии, чем на стирку при температуре + 40 °C. При этом известен тот факт, что стиральный порошок растворяется и активно реагирует с грязным бельем при температуре + 40 °C.

6. 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 некоторым 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;

- обеспечивать вокруг холодильника свободное пространства не менее 1-2

см;

- класть в холодильник и морозильник только холодные продукты;
- обращать внимание на плотность примыкания дверей к корпусу этих приборов; держать дверцу приборов открытой как можно меньше;
- удалять не реже 1 раза в год пыль с обратной стороны приборов;
- отключать холодильник от электросети, если семья уезжает из квартиры на несколько дней.

7. Использование газовых плит является с точки зрения экологии 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 dna которых должен быть больше примерно на 3 см диаметра нагревательной поверхности плиты;
- выключения электроплиты на несколько минут раньше окончания варки или жаренья продуктов;
- использования посуды с крышкой;
- добавление оптимального количества воды.

8. Установление автоматических выключателей в местах, где требуется освещение в небольшой промежуток времени, например, на лестничных площадках многоквартирного дома, при входе во двор отдельно стоящего одноквартирного дома.

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

Важным моментом в **экономии тепла** является надежное утепление окон, дверей, балконов и других элементов квартир, домов. Наиболее простой и быстрый способ – это свернутые из газет трубки вкладываются в зазоры между створками окна и откосами оконного проема. Этот способ применим только к современным свинчивающимся рамам и эффективен в сильные морозы, но при условии, что щели в окнах невелики.

Необходимо завешивать окна и балконные двери толстыми занавесками, но так, чтобы они не закрывали радиаторы и не препятствовали циркуляции тепла; дополнительно укрепить прозрачную полиэтиленовую пленку на окнах (тройное остекление); закрыть более чем наполовину вентиляционные отверстия в туалете, ванне, на кухне, а также дымоходы плотной бумагой или картоном.

Много тепла бесполезно теряется от радиаторов через стены и открываемые иногда окна. Уменьшить эти потери можно установкой отражающего экрана из блестящей пленки, алюминиевой фольги или оцинкованной жести, на克莱енной на фанеру, картон или древесноволокнистую плиту за радиатором под подоконником. Лучшим способом регулирования температуры в квартире является установка кранов и терморегуляторов на радиаторах, которые не следует

загораживать мебелью во избежание затруднения циркуляции теплого воздуха в комнате.

Надежный способ защиты окон от вторжения холода в квартиры - использование пасты из мела и мучного клея. Приготовленную пасту из этих компонентов в соотношении 1:1 заполняют зазоры по всему периметру окна. Если в доме установлены рамы старого образца, то такой же меловой пастой, только с меньшим содержанием клея (3:1 или 4:1) заполняют щели между оконной коробкой и створками. Для этого все створки открывают, наносят по периметру оконной коробки пасту и затем створки закрывают. Излишки пасты, выдавливаемые через щели, сразу же удаляются. При открытии оконных рам весной, высохшая замазка отлетает без остатков с переплетов.

Щели между входными дверями и косяком можно уплотнить с помощью аптечной резиновой трубки, прибивая ее к косякам мелкими гвоздиками. Если щель велика, одна прикрепляется к косякам, а другая – к двери.

Балконную дверь можно утеплить с помощью простеганного ватного коврика из декоративной ткани. Размеры ее выбирают такими, чтобы перекрыть нижние и боковые щели двери. Коврик крепится на небольших крючках, вбитых в дверь и в правую и левую части дверной коробки. Чтобы выйти на балкон, достаточно снять петельки с нескольких крючков.

Зашиту от холода в сельских домах и на дачах можно обеспечить путем устройства, лучше осенью, завалинки из сухой соломы и листвы. Зимой ее можно сделать из снега. Технология устройства ее в этом случае проста: полиэтиленовую пленку или непригодный для кровли рубероид расстилают по периметру дома так, чтобы половина используемого материала оказалась прижатой к фундаменту дома или стене, а половина лежала на отмостках. Далее засыпается снегом. Изолирующая толь или рубероид предохраняют стены и фундамент от сырости, а снег сберегает тепло.

**Понятие пассивного дома. Экодом.** Современные «*суперизолированные*», или «*микроэнергетические*» здания позволяют настолько уменьшить потери тепла за счет теплоизоляции всех конструкций, что поступлений «пассивной» тепловой энергии от людей, бытовых электроприборов и лучистого потока через окна оказывается достаточно для создания комфортных условий жизни без дополнительной энергии от источников отопления. Такой *энергетически «пассивный» дом* представляет собой замкнутую систему, не нуждающуюся или минимально нуждающуюся в поступлениях тепла извне. Особенно перспективны такие дома при застройке пригородных зон больших и малых городов, а также населенных пунктов сельской местности строениями коттеджного типа. Так, в Беларуси внедряются технологии строительства коттеджей путем сборки из пустотных энергосберегающих опалубочных блоков из специального строительного пенополистирола, удерживаемых арматурой и заливаемых бетоном. Пенополистирол обладает исключительно высокими теплоизоляционными свойствами, хорошими эксплуатационными характеристиками.

Существует также понятие «*экодом*». Имеется в виду жилище, в котором практически не используются невозобновляемые источники энергии и эксплуа-

тация которого не наносит вреда природе и здоровью человека. В США, Швеции, Японии, Германии построены достаточно давно 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 ведутся изыскательские работы по строительству относительно дешевых малоэтажных экодомов из местных экологически чистых природных материалов (прессованной соломы, глиносоломенной смеси, соломенных блоков) с применением энергосберегающих технологий строительства, солнечной энергии для отопления и сезонного нагрева воды. Для канализации в экодомах предусматривается использование локальных биологических систем утилизации хозяйственных стоков замкнутого цикла, или компостные туалеты. Отопление экодома обычно содержит основную систему из солнечного теплового коллектора и теплоаккумулятора и вспомогательную (аварийную) - камин или печь медленного горения. В Беларуси намечено построить показательные экспериментальные экодеревни на 20-40 экодомов с альтернативными системами энергоснабжения.

### **Контрольные вопросы**

1. *Какова типовая структура расхода тепловой энергии зданием?*
2. *Какие теплоизоляционные системы, применяемые для наружной теплоизоляции зданий, Вы знаете?*
3. *Определите понятие «термошуба». Для чего она применяется? Из каких материалов делается?*
4. *На какие группы можно разделить применяемые ныне окна?*
5. *Что из себя представляет стеклопакет?*
6. *Определите понятия «пассивный дом» и «экодом».*
7. *Перечислите основные возможности сокращения расхода электроэнергии в городе.*
8. *Какими способами осуществляется управление осветительной нагрузкой.*
9. *Перечислите применяемые сегодня типы ламп и приведите их характеристики.*
10. *Назовите преимущества люминесцентных светильников.*
11. *Назовите преимущества галогеновых ламп.*
12. *Какие приоритетные направления оптимизации системы теплоснабжения городов в Республике Беларусь Вы знаете?*
13. *В чем заключается задача реконструкции и модернизации систем централизованного теплоснабжения городов Беларусь?*
14. *В чем заключается задача децентрализации теплоснабжения городов Беларусь?*

- 15. В чем заключается задача регулирования режимов теплопотребления во всех элементах систем теплоснабжения?*
- 16. В чем заключаются особенности теплоснабжения промышленных зданий?*
- 17. Охарактеризуйте возможности повышения эффективности использования энергии в транспортном секторе экономики*
- 18. На какие группы можно условно разделить использование электроэнергии в квартирах?*
- 19. Перечислите меры по рачительному использованию электроэнергии в быту.*
- 20. Перечислите меры по рачительному использованию тепловой энергии в быту.*

## **11. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ**

### **11.1. Экологические проблемы, связанные с работой ТЭС, ГЭС, транспорта**

Традиционные способы выработки тепло- и электроэнергии в котельных и на ТЭС из первичных источников энергии, использование топлива в топливо-потребляющих технологических установках сопряжены с разносторонним локальным и глобальным воздействием на окружающую среду.

Для обеспечения работы ТЭС привлекаются значительные природные ресурсы (топливо, вода, реагенты, строительные материалы). Через технологические (топливоснабжение) и естественные (сток рек, воздушные течения, подземная фильтрация) связи их влияние передается на значительные расстояния и должно быть учтено, локализовано и максимально нейтрализовано.

Размеры площадок ТЭС достигают 3-4 км. На этой территории полностью изменяется рельеф местности, характеристики и распределение воздушных течений и поверхностного стока, нарушается почвенный слой, растительный покров, режим грунтовых вод. Эти изменения, также производственные шумы и освещенность в ночное время приводят к нарушению экологического равновесия.

Выброс больших масс теплоты и влаги вызывает снижение солнечной освещенности, образование низкой облачности и туманов, моросящих дождей, инея, гололеда, обледенения дорог и конструкций. В теплое время года в результате испарения капель, достигших земли, возможно засоление почв.

Создание водохранилищ - охладителей для мощных электростанций с поверхностью 20–30 км<sup>2</sup> приводит к перераспределению стока, изменению режима паводков, разливов, восполнения запасов грунтовых вод, условий разведения рыбы.

Сточные воды и ливневые стоки с территории ТЭС загрязняются отходами технологических циклов энергоустановок (нефтепродукты, шлаки, обмывочные

воды). Их сброс в водоемы может оказаться гибельным для водных организмов, снижает способность водоема к самоочищению. Отрицательное влияние на природные условия оказывают золоотвалы – земля исключается из сельскохозяйственного оборота. Пыление золоотвалов приводит к гибели растений.

В технологических циклах электростанций более 95% охлаждающей воды нагревается на 9-10°C, в водоемы сбрасывается большое количество теплоты, которая нарушает естественные условия существования экологических систем.

Газопылевые выбросы ТЭС загрязняют атмосферу углекислотой, золой, оксидами азота, сернистой и серной кислотой, что вызывает коррозию сооружений и оборудования, уменьшает солнечное облучение территории.

Среди основных направлений охраны окружающей среды от вредного воздействия ТЭС следует отметить применение природосберегающих технологий при генерации энергии. К их числу относятся технологии, которые увеличивают коэффициент использования топлива (ТЭЦ вместо КЭС, АЭС вместо ТЭС на органическом топливе) и соответственно уменьшают количество прямых (зола, шлак) и вторичных (обмывочные воды) загрязнений. К ним относятся различные способы деструктивной переработки топлив (получение метанола, синтез-газа, водорода и т.д.), позволяющие более полно произвести выделение потенциальных загрязнителей (серы) на ранних стадиях использования топлива. Сюда же относится применение замкнутых технологических циклов: полное использование золы ТЭС, получение из дымовых газов азота и технической серной кислоты, улавливание и последующее сжигание нефтепродуктов из отходящих вод.

Эти методы относятся к активным способам защиты окружающей среды.

Пассивные способы предусматривают применение устройств, улавливающих загрязнения на конечных стадиях технологического процесса (золоуловители, очистные сооружения) или способствующих их разбавлению до концентраций, меньших предельно допустимых (высокие дымовые трубы, шумоглушители).

ГЭС также отрицательно воздействуют на окружающую среду. Плотины малых ГЭС Беларуси сооружаются в 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. Это отрицательно влияет на судоходство, рыбное хозяйство.

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды также является **автомобильный транспорт**. Он использует 96 % всех производимых нефтепродуктов и выбрасывает затем в атмосферу тысячи тонн оксида углекислого газа, оксида азота и других вредных веществ. Кроме того, эти вещества вместе с выбрасываемыми в атмосферу вредными веществами промышленных предприятий и при горении древесины содержат частицы размером менее 25,5 микрон, которые проникают в легкие и другие ткани, вызывая воспаление и формирование тромбов, которые оказывают крайне неблагоприятное воздействие на работу сердца, провоцируя развитие сердечных приступов: инфаркта и повышения

давления. Автомобиль - самый крупный генератор шума и вибрации.

Автомобиль, являющийся символом современной цивилизации, принес не только благо для людей, но и неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Но оно может быть уменьшено, если начнут выпускать автомобили с малым удельным расходом топлива, таким, например, как представил концерн «Volkswagen» - новый прототип самого экономичного автомобиля в мире, потребляющего лишь один литр дизельного топлива на 100 км пути.

Ныне в мире эксплуатируется около 600 млн. автомобилей, которые ежегодно потребляют свыше 1 млрд. т моторных топлив, в том числе более 600 млн. т автомобильных бензинов. К 2010 году прогнозируется увеличение числа автомобилей до 800 млн. - 1 млрд<sup>2</sup>. Экологическая нагрузка на окружающую среду и человека от такого количества автомобилей окажется очень ощутимой. И поэтому во многих странах ведется большая работа не только над снижением расхода топлива на 100 км пробега, но и по использованию для автомобилей вместо бензина в качестве топлива альтернативных источников энергии, в том числе газа и энергии солнца.

Вместе с разрабатываемыми в мире мерами по замене жидкого топлива из нефтепродуктов, используемого ныне в автомобилях, на альтернативные виды топлива из растительного сырья, снижению удельных норм расхода топлива на 100 км пробега, во многих странах проводится большая работа по переводу автомобилей на газ в качестве моторного топлива. И если вдаваться в историю вопроса, то первый в мире двигатель внутреннего сгорания работал на газе. С изобретением бензина он вытеснил газ на полторы сотни лет. Но человечество за это время пришло к мысли о пагубности для себя технологии сжигания моторного топлива из нефтепродуктов и превращения его в газ, в результате чего происходит колоссальное загрязнение окружающей среды, и начало возвращаться к использованию газа в качестве моторного топлива. В настоящее время в мире на метане работает порядка 1 млн. автомобилей, число которых стремительно растет и в скором времени обещает достигнуть 6,5 млн. В городах США, Канады и Западной Европы планируют в самые сжатые сроки полностью перевести муниципальный транспорт на газ. 36 регионов России заключили договоры с «Газпромом», в которых предусмотрен специальный пункт о переводе автотранспорта на газомоторное топливо. Активно работают в этом направлении и страны Азии: Южная Корея, Китай, Пакистан, Индия.

В Беларуси в настоящее время насчитывается не более 6 тыс. газоболонных автомобилей, что составляет немногим более 0,2 % от их общего количества (2800 тыс.), хотя поставки газа стабильны и цены более постоянны. При этом следует заметить, что 1 л бензина по своей теплотворной способности практически равен 1 м<sup>2</sup> газа. По данным Института энергетических исследований Российской академии наук к 2010 г. стоимость 1 т традиционного топлива будет в 2-3 раза выше 1 тыс. м природного газа.

Вместе с тем загрузка 24 автозаправочных компрессорных станций, расположенных в 17 городах на основных транспортных направлениях республики, не превышает 25 %. Причин этому несколько: отсутствие у предприятий денег

на переоборудование транспорта, непонимание отдельными руководителями преимуществ газомоторного топлива и др. А ведь материальные затраты на топливо при эксплуатации автомобиля на бензине составляют 25-30 % от себестоимости перевозок, а с использованием компримированного природного газа - более 10-15 %.

Кроме экономической выгоды, работа автомобилей на компримированном природном газе сокращает выброс наиболее вредных компонентов в 1,5-5 раз по сравнению с бензином и в 10 раз по сравнению с дизельным топливом. Но транспортные организации не заинтересованы в использовании более дешевого топлива, поскольку затраты на него входят в себестоимость транспортных услуг, которые затем в виде тарифа ложатся в себестоимость продукции заказчика транспорта, и в конечном итоге, в розничную цену, по которой отпускается продукция потребителям.

Переоборудование легкового транспорта типа ГАЗ-3110 окупается через 30 тыс. км пробега, грузового, как ГАЗ-3307 и ГАЗ-3302 - через 21,6 тыс. км, а для ЗИЛ-138А еще меньше. При условии, что в среднем за рабочий день автомобиль преодолевает расстояние в 100 км, установка на него, казалось бы, дорогостоящей аппаратуры полностью окупается через год для легковых автомобилей и через 6-6,5 месяцев - для грузовых.

Ссылка отдельных руководителей на утяжеление автомобиля после переоборудования его на газомоторное топливо является несостоятельной, поскольку коэффициент использования грузообъемности автотранспорта составляет 0,5-0,6.

В Беларуси разработана комплексная программа использования газа в качестве альтернативного моторного топлива для автотранспортной техники.

Мировой опыт показывает, что наиболее приемлемым и реально ощущимся шагом к уменьшению вредных выбросов в атмосферу от автомобилей может стать глобальный переход автомобильной техники на природный газ. Он экологичен, дешев, безопасен в эксплуатации.

К настоящему времени во многих странах производителями автомобилей проводятся испытания различных типов электромобилей с запасом хода 60-100 км и максимальной скоростью до 80 км/ч. Ведущие в мире автомобилестроительные компании США, Японии и других стран проводят испытания или работают над созданием электромобилей со скоростью до 120-140 км/ч и пробегом не менее 225 км. Тяговым электродвигателем такого солнцемобиля является батарея аккумуляторов, заряжаемых на гелио-станциях (гелиозаправочных станциях).

В последние годы все большее распространение в мире получают электро-велосипеды и электромопеды под общим названием «легкие транспортные средства», использующие также солнечную энергию в виде аккумуляторных батарей или солнечных панелей.

Из всех загрязняющих веществ в Республике Беларусь 70 % приходится на так называемые трансграничные переносы и 30 % - на собственные, из которых львиную долю составляют передвижные источники загрязнения, в основном

автомобили, число которых в настоящее время составляет 2,6 млн. единиц. Особенно большое количество выбросов в атмосферу от автомобилей происходит в момент неустойчивой работы двигателей (во время торможения и начала движения).

Основным нейтрализатором этих вредных выбросов в атмосферу являются леса, занимающие 35 % территории Республики Беларусь, и болота, которые в 7 раз эффективнее, чем лес, поглощают углекислый газ. В городах основным очистителем воздуха являются тополиные насаждения: один тополь очищает воздух так, как делают это 4 сосны или 7 елей, или 3 липы. Для поддержания нормальной экологической обстановки в городах необходимо иметь на каждого жителя  $16 \text{ м}^2$  зеленых насаждений общего пользования - парков, скверов, бульваров, лесопарков. В некоторых городах, например в Витебске, этот показатель составляет  $12 \text{ м}^2$ .

Существует проблема и *авиационной* экологии. Самолет воздействует на атмосферу не только механически, направляя поток импульса воздуха вниз на Землю, но и энергетически, физически, химически и оптически. При сжигании топлива в атмосферу выделяется тепловая энергия, а вместе с ней образуется большое количество оксидов и кислот (азота, серы, углерода, хлора), происходит конденсация водяного пара в струйно-вихревом следе, легко наблюдаемым с Земли в виде белых шлейфов. Помимо перечисленных существует и проблема звукового удара.

Современные технологии оказывают негативное воздействие на здоровье людей. Согласно докладу группы экспертов, опубликованному в 1997 г., воздействие продуктов сжигания только твердого топлива в период до 2020 г. может обернуться ежегодной смертью 700 тыс. человек. Сокращение же выбросов на 10-15 % спасло бы жизнь 8 млн. человек. Из сказанного следует вывод: обеспечивая повышение жизненного уровня населения, в каждом государстве необходимо стремиться к разработке таких предметов потребления и технологий их производства, которые потребляли бы меньшее количество энергии, обеспечивая параметры их, выше параметров своих предшествующих аналогов, и тем самым уменьшая вредное воздействие на окружающую среду.

## 11.2. Специфические экологические проблемы ядерной энергетики

Дешевизна ядерного топлива в сравнении с обычным и необычайная простота физических и технических принципов реакторов деления позволяли рассчитывать на экономическую выгоду АЭС, а опыт реактора военного назначения и первых АЭС указал на их безопасность, достигаемую достаточно простыми инженерными мерами и высокой квалификацией персонала.

Однако эта уверенность была поколеблена большими авариями на АЭС в 70-е и 80-е годы и особенно Чернобыльской АЭС, что подчеркнуло вероятную природу проблемы безопасности. Поэтому некоторые страны или отказались от атомной энергии, или объявили мораторий на строительство новых АЭС (Авст-

рия, Дания, Ирландия, Испания, Италия, Швеция). Перестали строить АЭС США, Канада, Англия, Германия.

После Чернобыля Россия тоже заморозила реализацию практически всех своих «атомных» проектов. Но в 2000 г. действующие АЭС Российской Федерации выработали 130,7 млрд. кВт • ч электроэнергии – значительно больше, чем в благополучном 1990 г. Темп роста выработки электроэнергии на АЭС в 3 раза выше, чем на тепловых станциях.

Выдержав «атомную паузу», в России решено достроить последний энергоблок на Калининской АЭС, расконсервировать незаконченное строительство всех 10 АЭС, начатое в годы советской власти. В ближайшее время эти объекты должны быть введены в эксплуатацию. И роль атомной энергетики в этой стране будет возрастать, что подтверждено на заседании Совета Министров Российской Федерации, прошедшем в середине мая 2001 г. К 2020 г. ее доля составит треть общего производства.

Принятые меры по совершенствованию конструкции и эксплуатации АЭС позволили снизить вероятность тяжелых аварий и продолжать эксплуатацию и строительство АЭС традиционных типов. Реально общая мощность всех АЭС в мире поставляет 352 ГВт.

В настоящее время строительство АЭС продолжают топливодефицитные Япония и Южная Корея, а также многие развивающиеся страны. К концу 2010 г. в Японии планируется построить от 16 до 25 АЭС. В настоящее время суммарная электрическая мощность всех энергоблоков АЭС Японии составляет около 45 000 МВт. Продолжают ранее начатое строительство и установку новых реакторов в Аргентине, Бразилии, Чехии, Украине, Иране, Словакии.

Во Франции первый ядерный реактор был сооружен в 1958 году, а в настоящее время эксплуатируется 58 ядерных энергоблоков, суммарная мощность которых достигла 63 ГВт. На них производится 76 % всей вырабатываемой во Франции электроэнергии. Все ядерные реакторы имеют запланированный срок службы на менее 40 лет. Атомная энергетика Франции обеспечила стране около 100 000 рабочих мест, а при проведении планово-предупредительных работ на АЭС привлекаются еще примерно 100 000 специалистов из других отраслей.

Всего в мире по состоянию на 1 января 2001 года эксплуатировалось 436 ядерных энергоблоков на 247 АЭС, которые вырабатывали 17 % электроэнергии в мире. В некоторых странах АЭС составляют основу национальной энергетики. Это обусловливает тот факт, что ядерная энергетика обладает техническим и топливно-ресурсным потенциалом для внесения значительного вклада в ограничение выбросов, загрязняющих атмосферу, при выработке электроэнергии и энергообеспечении производства и быта людей.

В процессе работы АЭС образуются *жидкие, газообразные, аэрозольные нетвердые радиоактивные отходы*. Присутствие в этих отходах долгоживущих изотопов продолжительное время сохраняет их активность на достаточно высоком уровне. При эксплуатации АЭС осуществляется тщательный контроль за образованием радиоактивных отходов, а перед поступлением их во внешнюю среду устанавливается многобарьерная система фильтров и защитных уст-

ройств.

Твердыми отходами являются детали загрязненного радиоактивными веществами демонтированного оборудования, отработанные фильтры для очистки воздуха, сорбенты, спецодежда, мусор. Их захоронение осуществляется в специальных траншеях. Объем их может быть уменьшен прессованием или сжиганием при соответствующей очистке продуктов сгорания.

Радиоактивные воды АЭС перерабатываются с помощью спецводоочисток. Их принцип работы – испарение воды, осаждение твердой фазы и ионный обмен. Образующиеся концентраты и растворы реагентов направляются в хранилище жидких отходов.

Газовые и аэрозольные отходы подвергаются очистке на многоступенчатых фильтрах, выдержке в очистных устройствах и выбрасываются в атмосферу через высокие трубы (100–150 м). Возможна также сорбция радиоактивных газовых составляющих активированным углем.

Для АЭС основным фактором радиационной опасности является внешнее ионизирующее излучение. С точки зрения радиационного загрязнения окружающей среды АЭС – более чистые по сравнению с угольными электростанциями: в угле содержатся естественные радиоактивные элементы – радий, торий, уран, полоний и др., которые вместе с золой выбрасываются в атмосферу (пылеугольная ТЭС мощностью 1200 МВт, потребляя 3,4 млн т угля в год, выбрасывает в атмосферу ежегодно 130 тыс. т золы). Их активность составляет 100 мбэр/год, для АЭС аналогичной мощности величина радиоактивных выбросов – 0,5–1 мбэр/год.

Основной принцип при переработке и захоронении радиоактивных отходов заключается в их концентрировании в малых объемах с последующим вечным захоронением в таких местах, где обеспечивается полный радиоактивный распад вне контакта с биосферой (600 лет).

Отходы отваждаются (битумируются и остекловываются) для связывания радиоактивных веществ. Последующее хранение – в герметических железобетонных емкостях или металлических контейнерах. Лучшими местами для захоронения являются заброшенные соляные копи (отсутствие воды, спокойные в сейсмическом отношении районы, большие объемы подземных пустот).

Исходя из экономической целесообразности, в настоящее время потребность республики в электроэнергии удовлетворяется на 77 % за счет выработки на собственных электростанциях (в основном на импортном газе) и 23 % за счет импорта электроэнергии. Если учесть, что импорт электроэнергии, по оценкам специалистов, из России к 2015 г. будет снижен, то большая часть электроэнергии должны покрываться за счет собственного производства. Кроме того, велика изношенность энергетического оборудования. В перспективе за счет всех местных видов топлива и возобновляемых источников энергии с учетом выбывающих запасов нефти, попутного газа и торфа и увеличением использования возобновляемых источников их объем в топливном балансе может составить 5-6 млн. т. у. т. в год.

Реалии сегодняшнего дня диктуют необходимость строительства в Республике Башкортостан

лике Беларусь АЭС. Сроки строительства АЭС будут определяться Правительством Республики Беларусь с учетом технических, экологических, социальных и экономических предпосылок. Строительство ее может осуществляться в течение 5-7 лет, а стоимость составит 3-4 млрд. долларов.

### 11.3. Парниковый эффект

Глобальное потепление является твердо установленным научным фактом. За последние 20-25 лет зафиксированное потепление составило  $0,35^{\circ}\text{C}$ . По прогнозам пик глобального потепления будет зафиксирован на уровне  $1,5^{\circ}\text{C}$  выше современного примерно через 200 лет.

Основной причиной глобальных процессов изменение климата на нашей планете являются существующие технологии, оказывающие негативное воздействие не только на климат, но и на здоровье людей, выбрасывая в атмосферу парниковые газы, которые обусловливают парниковый эффект.

Парниковый эффект – это свойство атмосферы пропускать солнечную радиацию, но задерживать земное излучение и тем самым способствовать аккумуляции тепла Землей, средняя температура которой в настоящее время составляет около  $15^{\circ}\text{C}$ . При данной температуре поверхность планеты и атмосфера находятся в тепловом равновесии.

До вмешательства человека в глобальные процессы Земли изменения, происходящие на ее поверхности и в атмосфере, были связаны с содержанием в природе газов, которые и были названы «парниковыми». К таким газам относятся: диоксид углерода, метан, оксид азота и водяной пар. В настоящее время к ним добавились антропогенные хлорфтоглериды (ХФУ). Без газового «одеяла», окутывающего Землю, температура на ее поверхности была бы ниже на  $30 \dots 40^{\circ}\text{C}$ , что обусловило бы проблематичность существования живых организмов в таких условиях.

В результате техногенной деятельности человека некоторые парниковые газы увеличивают долю своего участия в общем балансе атмосферы. Это касается прежде всего углекислого газа, содержание которого из десятилетия в десятилетие неуклонно растет. Углекислый газ создает 50 % парникового эффекта, на долю ХФУ приходится 15-20 % и на долю метана - 18%.

В приложении к климатической Конвенции ООН названы технологические процессы, приводящие к эмиссии парниковых газов:

- в энергетике – сжигание топлива, энергетическая, обрабатывающая и строительная промышленности;
- при добыче и транспортировке топлива – твердое топливо, нефть и природный газ;
- промышленные технологии – горнодобывающая, химическая, металлургическая, производство и использование галогенизированных углеродных соединений;
- в сельском хозяйстве – интенсивная ферментация, хранение и использо-

вание навоза, производство риса, управляемый пал, сжигание сельскохозяйственных отходов;

– отходы – хранение и сжигание отходов, обработка сточных вод.

Основным загрязнителем атмосферы является CO<sub>2</sub>, образующийся при выработке электроэнергии в основном огневым способом, то есть путем сжигания добываемого органического топлива. Практически весь используемый Европой газ применяется в огневых технологиях. Евросоюз с населением 16 % от общего населения в мире является в настоящее время одним из загрязнителей мировой атмосферы (26%). На США приходится 20 % мировой эмиссии парниковых газов. Выброс парниковых газов при огневом энергопроизводстве составляет около 1,4 кг на 1 кВт\*ч. Производство же электроэнергии на основе безэмиссионных технологий связано с их высокой стоимостью.

Большинство энерготехнологий, основанных на возобновляемых источниках, требуют больших затрат, в том числе и материальных. А они, в свою очередь, обуславливают повышенные энергозатраты, а значит, сопряжены с дополнительной эмиссией тех же парниковых газов.

В результате антропогенной деятельности человечества за последние 30-40 лет планетарная температура поднялась на 0,6-0,7°C и является наиболее высокой за последние 600 лет. Поднялся средний уровень моря по сравнению с прошлым столетием на 10-15 см. За это же время отступили все зарегистрированные горные ледники.

Научные оценки в основном совпадают в констатации усиления тенденции к потеплению климата. Средняя температура на планете к 2010 году может повыситься на 1,3°C. Спектр пагубных тенденций может быть очень широким - от повышения мирового океана на 0,3-1,0 м до изменения климатических систем перераспределения осадков.

Осознание необходимости принятия конкретных мер по уменьшению воздействия на климат пришло к мировому сообществу уже давно, и в середине 70-х годов XX в. начались активные работы в этом направлении: в 1978 г. Климатическую программу приняли в США; в 1979 г. на Всемирной климатической конференции в Женеве заложены основы Всемирной климатической программы; в 1988 г. Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и Программой ООН по окружающей среде (UNEP) учреждена Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК); 9 мая 1992 г. в Нью-Йорке в соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН об охране глобального климата в интересах нынешнего и будущего поколений принята Рамочная конвенция ООН об изменении климата.

Развитием ее является известный Киотский протокол 1997 года. Это первый в истории человечества случай, когда практически все мировое сообщество подключилось к решению такой сложной научной задачи, как охрана климата. Основным содержанием Киотского протокола является обязательство 35 стран мира по сокращению эмиссии парниковых газов, в первую очередь CO<sub>2</sub>, к концу 2012 г., по сравнению с базовым 1990 г., от 92 до 100 %. Согласно протоколу промышленно развитые страны должны снизить такие выбросы на 5,2%.

Киотским протоколом (1997 г.) закреплены количественные обязательства как развитых стран, так и стран с переходной экономикой по ограничению и снижению поступления парниковых газов (прежде всего СО<sub>2</sub>) в атмосферу. Но этот протокол начнет действовать только после его ратификации в тех странах, которые дают 55 % всех выбросов СО<sub>2</sub>. Протокол подписан 84 государствами, а по состоянию на середину 2001 г. его ратифицировали 29 развивающихся стран и Франция – единственная из стран «восьмерки».

Подтверждением несостоенности Протокола Киото стала 6-я конференция стран, подписавших Рамочную конвенцию ООН по проблеме изменения климата (13-24 ноября 2000 года). Семь тысяч участников представляли 182 правительства, 323 межправительственные и неправительственные организации и 443 органа средств массовой информации.

Предполагается, что к 2020 г. мировое потребление электроэнергии вырастет на 60 % по сравнению с 1967 г. При этом в развивающихся странах прирост потребления энергии составит 121 %. Вероятно, более быстрым, чем ожидалось ранее, окажется рост эмиссии СО<sub>2</sub>: на 40 % - с 1990 по 2010 гг. и на 72 % - с 1990 до 2020 гг.

#### **11.4. Экологические эффекты энергосбережения**

Как правило, любое энергосберегающее решение влечет за собой положительные экологические эффекты. Поэтому при принятии решений о целесообразности затрат на энергосберегающие мероприятия и определении их приоритетов необходимо производить количественную оценку экологических эффектов. Рассмотрим, в чем заключается значение энергосбережения для сохранения здоровья и среды обитания человека.

**Первый эффект энергосбережения** связан с возможностью не сооружать новые топливные базы, инфраструктуры топливообеспечения, энергопроизводящие источники, сети транспорта и распределения энергоносителей.

**Вторым важнейшим экологическим эффектом** энергосбережения является снижение антропогенных выбросов парниковых и загрязняющих газов за счет экономии энергии, внедрения новых энергосберегающих технологий и оборудования в производствах указанных отраслей экономики.

**Третьим эффектом** энергосбережения является сохранение гидросферы. Беларусь имеет густую речную сеть, десятки тысяч водоемов: озер разной величины, прудов, водохранилищ. Однако водообеспеченность общим стоком на одного жителя в республике составляет 6,4 км, что в 3 раза ниже, чем в целом по СНГ. Использование воды на производственные и хозяйствственно-бытовые цели неуклонно растет. Основными источниками загрязнения водоемов и водотоков вредными веществами и избытками тепла являются энергоёмкие производства предприятий черной, цветной металлургии, химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, легкой промышленности, бытовые сточные воды. Экономия сжигаемого топлива, энергоносителей приводит к уменьшению загрязнения гидросферы. Большое значение имеет повышение уровня очистки

воды на предприятиях, но даже очищенные сточные воды ухудшают качество природных вод. Самостоятельный аспект влияния энергетики на экологическое равновесие естественных водных систем – охрана водоемов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами при их транспортировке и хранении.

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 тут. в год. Поэтому необходимо решать проблему компенсации или устранения экологических последствий энергоиспользования. Основные направления решения этой проблемы:

*1. Снижение доли энергоемких технологий во всех отраслях экономики, внедрение энергосберегающих технологий и оборудования.* Кроме указанных экологических эффектов более совершенные энергосберегающие технологии обеспечивают качество, конкурентоспособность продукции, лучшие условия труда на производстве, комфортные условия быта населения. Обеспечивая лучший режим энергопотребления во времени, уменьшая риск аварийных ситуаций, переход на новые технологии способствует экологическому равновесию.

*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 может быть создано в рамках предприятия, отрасли, региона, а в конечном счете – для всего народного хозяйства. 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, которое сможет их использовать по назначениям, где им нет пока альтернативы (химическая продукция, транспорт);
- 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. Использование древесины в энергетических целях не влияет на газовый и тепловой баланс Земли. По прогнозу Европейской экономической комиссии, к 2000 г. доля древесины и нелесной биомассы в структуре энергопотребления стран, входящих в ЕЭК, повысится до

29,5 и 12% соответственно. Кроме замещения угля, нефти, 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 том числе энергетическими, и мониторинг энергетического загрязнения биосферы.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные экологические проблемы, связанные с работой ТЭС.
2. Какие направления охраны окружающей среды от вредного воздействия ТЭС Вы знаете?
3. Перечислите основные экологические проблемы, связанные с работой ГЭС, автомобильного транспорта, авиаперевозок.
4. Охарактеризуйте ситуацию по развитию атомной энергетики в мире.
5. Какие виды отходов образуются в процессе работы АЭС.
6. Каковы причины образования «парникового эффекта»?
7. Какие меры принимаются мировым сообществом по уменьшению воздействия человека на климат?
8. Назовите и охарактеризуйте эффекты энергосбережения и использования ВЭР.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андрижевский, А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент : учебное пособие / А. А. Андрижевский, В. И. Володин. – Минск : Высшая школа, 2005. – 294 с.
2. Баранников, Н. М., Расчет установок и теплообменников для утилизации вторичных энергетических ресурсов : учебное пособие / Н. М. Баранников, Е. В. Аронов. – Красноярск : Изд-во Красноярского ун-та, 1992. – 256 с.
3. Основы энергосбережения : учебное пособие / Б. И. Врублевский [и др.] ; под. ред. Врублевского Б. И. – Гомель : ЧУП «ЦНТУ «Развитие», 2002. – 190 с.
4. Основы энергосбережения : цикл лекций / под ред. Н. Г. Хутской. – Минск : Тэхналогия, 1999. – 100 с.
5. Поспелова, Т. Г. Основы энергосбережения / Т. Г. Поспелова. – Минск : УП «Технопринт», 2000. – 353 с.
6. Самойлов, М. В. Основы энергосбережения : учебное пособие / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев. – Минск : БГЭУ, 2002. – 198 с.
7. Сибикин, Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : Форум – Инфра-М, 2006. – 352 с.
8. Свидерская, О. В. Основы энергосбережения : курс лекций / О. В. Свидерская. – Минск : Академия управления при Президенте РБ, 2003. – 292 с.
9. Теплоиспользующие установки в текстильной промышленности : учебник для вузов / Е. А. Ганин [и др.]. – Москва : Легпромбытиздан, 1989. – 392 с.

Учебное издание

**Ольшанский Анатолий Иосифович  
Ольшанский Валерий Иосифович  
Беляков Николай Владимирович**

## **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**Пособие**

Редактор *Е.И. Махаринский*

Корректор *Е.М. Богачева*

Технический редактор *А.А. Угольников*

Компьютерная верстка *Беляков Н.В.*

---

Подписано к печати \_\_\_\_\_. Формат Бумага офсетная №1  
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. Листов \_\_\_. Уч.-изд. Листов \_\_\_.  
Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ №

Учреждение образования «Витебский государственный  
технологический университет» 210035, г. Витебск, Московский пр., 72

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный технологический университет»  
Лицензия №02330/0133005 от 1 апреля 2004г.