

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра экологии

И.И. Кирвель

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Конспект лекций

для студентов всех специальностей БГУИР  
всех форм обучения

Минск 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>5</b>
<b>Тема 1. Энергетические ресурсы</b>	<b>7</b>
1.1. Энергетика, энергосбережение и энергетические ресурсы. Основные понятия.	7
1.2. Истощаемые и возобновляемые энергетические ресурсы. Виды топлива, их состав и теплота сгорания.	9
1.3. Основные типы электростанций.	16
<b>Тема 2. Транспортирование тепловой и электрической энергии</b>	<b>21</b>
2.1. Электрические сети. Потери энергии при транспортировке электроэнергии.	21
2.2. Тепловые сети. Потери энергии при транспортировке тепла	23
2.3. Графики электрических и тепловых нагрузок. Структура энергопотребления в Республике Беларусь.	28
<b>Тема 3. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b>	<b>30</b>
3.1. Солнечная энергетика. Возможность использования солнечной энергии.	33
3.2. Ветроэнергетика и малая гидроэнергетика.	36
3.3. Энергия биомассы.	41
<b>Тема 4. Вторичные энергетические ресурсы</b>	<b>45</b>
4.1. Классификация вторичных энергетических ресурсов.	45
4.2. Источники вторичных энергетических ресурсов. Использование вторичных энергетических ресурсов.	46
<b>Тема 5. Аккумуляция тепловой и электрической энергии.</b>	<b>51</b>
5.1. Значение процессов аккумуляции.	51
5.2. Химическое аккумуляция.	52
5.3. Аккумуляция тепловой энергии.	53
5.4. Аккумуляция электрической энергии.	54

<b>Тема 6.</b> Энергосбережение в системах потребления энергоресурсов	58
6.1. Основные методы и приборы регулирования, контроля и учета тепловой и электрической энергии.	58
6.2. Автоматизация процесса регулирования, учета и контроля потребления энергоресурсов.	63
<b>Тема 7.</b> Экологические аспекты энергетики и энергосбережения.	66
7.1. Классификация и основные характеристики атмосферных выбросов при сжигании топлива.	66
7.2. Взаимосвязь экологии и энергосбережения.	68
7.3. Характеристики основных очистных сооружений и их экономическая эффективность.	77
<b>Тема 8.</b> Энергосбережение в зданиях и сооружениях.	86
8.1. Тепловые потери в деталях строений. Эффективная теплоизоляция зданий и сооружений.	86
8.2. Рациональные системы отопления зданий и сооружений. Повышение эффективности систем отопления.	96
8.3. Рациональное использование электрической и тепловой энергии в бытовых целях.	99
<b>Литература</b>	107

## **ВВЕДЕНИЕ**

Республика может обеспечить не более 10% своих потребностей в энергии собственными источниками. Поэтому энергосбережение, рациональное использование энергоресурсов является важной государственной задачей. Каждый инженер должен знать и применять методы максимальной экономии топлива, тепловой и электрической энергии, всемирного сокращения потерь энергетических ресурсов и производственной энергии.

Цель курса - подготовка инженера любой специальности, способного следить за рациональным использованием энергии, предупреждать ее произвольные потери, способствовать созданию энергосберегающих технологий, объяснять персоналу физический смысл и технические методы правильного использования тепловой и электрической энергии, обоснованно требовать строгого соблюдения технологичной дисциплины, поощрять творчество работников в этом направлении.

**Энергосбережение** - комплекс мер для обеспечения эффективного использования энергоресурсов.

**Экономия энергии** - результаты мер по снижению непроизводительных потерь. Меры могут быть пассивные (например, теплоизоляция), активные (утилизация теплоты) или организационные (замена технологий).

**Рациональное использование энергии** - расходование энергии наиболее целесообразным путем.

**Энергетический поток** - движение энергии, потребленной для производства продукции.

**Энергетический каскад** - предыдущее, когда после завершения одного технологического процесса остаточная энергия поступает на последующий процесс.

**Удельные затраты на экономию энергии** - затраты для реализации мер по экономии единицы энергии в год без нежелательного ухудшения качества и количества продукции.

**Теплоизоляция** - защита от нежелательного теплообмена с окружающей средой.

**Энергоэкономичное здание** - сооружение, в котором энергетические потребности удовлетворяются при минимальном использовании покупной энергии.

**Регенерация энергии** - использование сбросной энергии в том же процессе.

**Теплообменник** - устройство для передачи теплоты от одной среды к другой.

**Отходы** - материал, не используемый в данный момент, оставшийся после конкретного технологического процесса.

**Энергетические ресурсы** - запасы энергии, которые могут быть использованы существующей техникой,

**Первичный энергоресурс** - энергоресурс, который не был подвергнут переработке.

**Энергоноситель** - ресурс, непосредственно используемый на стадии конечного потребления, предварительно переработанный, облагороженный, а также природный энергетический ресурс, потребляемый на этой стадии.

**Полезная энергия** - часть подведенной к потребителю энергии, которая выполнила определенную работу.

**Источники энергии** - источники, из которых может быть получена полезная энергия непосредственно или путем преобразований.

**Утилизация энергии** - получение полезной энергии из подведенной.

**Потери энергии у потребителя** - разность между подведенной и полезной энергией.

# **ТЕМА 1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ**

## **1.1. ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.**

Общество в целом и каждый человек в отдельности не может обходиться без потребления энергии.

**Энергия** - способность производить работу или какое-то другое действие, меняющее состояние действующего субъекта. В широком смысле это - общая мера различных форм движения материи.

Для современного общества наиболее актуальными видами энергии являются **электрическая** и **тепловая**. Другие разновидности - механическая, химическая, атомная и т.д. - можно считать промежуточными или вспомогательными.

**Тепловая энергия** (тепло, теплота) - энергия хаотического движения микрочастиц - является первичной энергией цепи преобразования энергии, ею же эта цепь и заканчивается.

Тепловая энергия используется человеком для обеспечения необходимых условий его существования, для развития и совершенствования общества, для получения электрической энергии на тепловых электростанциях, для технологических нужд производства, для отопления и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий. Источниками энергии могут служить вещества и системы, энергетический потенциал которых достаточен для последующего целенаправленного использования.

**Энергетический потенциал** является параметром, оценивающим возможность использования источника энергии, выражается в единицах энергии - Джоулях или киловатт-часах.

**Энергетические ресурсы** – это любые источники механической, химической и физической энергии.

Энергетические ресурсы можно разделить на:

- первичные, источник которых – природные ресурсы и природные явления;
- вторичные, куда относятся промежуточные продукты обогащения и сортировки углей; гудроны, мазуты и другие остаточные продукты переработки нефти; щепки, пни, сучья при заготовке древесины; горючие газы; тепло уходящих газов; горячая вода из систем охлаждения; отработанный пар силовых промышленных установок.

Первичные энергетические ресурсы делят на:

- невозобновляемые или истощаемые (уголь, нефть, сланцы, природный газ, горючее);

- возобновляемые (древесина, гидроэнергия, энергия ветра, геотермальная энергия, торф, термоядерная энергия);

**Вторичные (побочные) энергоресурсы (ВЭР)** - это носители энергии, образующиеся в ходе производства, которые могут быть повторно использованы для получения энергии вне основного технологического процесса.

Около 90% используемых в настоящее время энергоресурсов составляют невозобновляющиеся (уголь, нефть, природный газ, уран и т.п.) благодаря их высокому энергетическому потенциалу, относительной доступности и целесообразности извлечения; темпы добычи и потребления их обуславливают энергетическую политику.

Эффективность использования энергоресурсов определяется степенью преобразования их энергетического потенциала в конечную используемую продукцию или потребляемые конечные виды энергии (механическая энергия движения, теплота для систем отопления или технологических нужд и т.д.), что характеризуется коэффициентом полезного использования энергоресурсов  $\eta_{эр}$ :

$$\eta_{эр} = \eta_d \cdot \eta_p \cdot \eta_i$$

где  $\eta_d$  - коэффициент добычи, извлечения потенциального запаса энергоресурса (отношение добытого ко всему количеству ресурса);

$\eta_{п}$  - коэффициент преобразования (отношения полученной энергии ко всей подведенной энергоресурсом);

$\eta_{и}$  - коэффициент использования энергии (отношение использованной энергии к подведенной к потребителю).

Для нефти  $\eta = 30...40\%$ , для газа -  $80\%$ , угля -  $40\%$ . Современные топочные устройства при получении тепловой энергии из химической путем сжигания топлив позволяют получить  $\eta_{п} = 94...98\%$ ; при передачи тепла потребителю через системы теплоснабжения  $\eta_{п}$  снижается до  $70...80\%$ . Если же из тепловой энергии продуктов сгорания получается механическая с целью выработки электроэнергии (на тепловых электростанциях - ТЭС), то  $\eta_{п} = 30...40\%$ ; для двигателя внутреннего сгорания  $\eta_{п} = 20...30\%$ . Величина  $\eta_{и}$  зависит от типа конкретного потребителя и условий эксплуатации (отопительные системы -  $50\%$ ). В среднем  $\eta_{эп} = 36\%$ .

## **1.2. Истощаемые и возобновляемые энергетические ресурсы. Виды топлива, их состав и теплота сгорания.**

Истощаемые ресурсы - это запасы топлива в недрах земли.

Мировой запас угля оценивается в 9-11 трлн.т. (условного топлива) при добыче более 4,2 млрд./год. Наибольшие разведанные месторождения уже находятся на территории США, СНГ, ФРГ, Австралии. Общегеологические запасы угля на территории СНГ составляют 6 трлн.т. /50% мировых/, в т.ч. каменные угли 4,7 и бурые угли – 2,1 трлн.т. Ежегодная добыча угля – более 700 млн.т., из них 40% открытым способом.

Мировой запас нефти оценивается в 840 млрд.т. условного топлива, из них 10% - достоверные и 90% - вероятные запасы. Основной поставщик нефти



на мировой рынок – страны Ближнего и Среднего Востока. Они располагают 66% мировых запасов нефти, Северная Америка – 4%, Россия – 8-10%. Отсутствуют месторождения нефти в Японии, ФРГ, Франции и многих других развитых странах.

Запасы природного газа оцениваются в 300-500 трлн. м<sup>3</sup>. Потребление энергоресурсов в мире непрерывно повышается. В расчете на 1 человека потребление энергии за период 1990-2000 г.г. увеличилось в 5 раз. Однако это потребление энергоресурсов осуществляется крайне неравномерно. Примерно 70% мировой энергии потребляют промышленно развитые страны, в которых проживает около 30% населения Земли. В среднем на 1 человека приходится в Японии 1,5-5 т., в США – около 7т., а в развивающихся странах 0,15-0,3т. в нефтяном эквиваленте.

Человечество ещё, по крайней мере, 50 и более лет сможет обеспечить значительную часть своих потребностей в различных видах энергии за счет органического топлива. Ограничить чрезмерное их потребление могут два фактора:

- очевидная исчерпаемость запасов топлива;
- осознание неизбежности глобальной катастрофы из-за увеличения вредных выбросов в атмосферу.

**К ресурсам возобновляемой энергии относятся:**

- сток рек, волны, приливы и отливы, ветер как источники механической энергии;
- градиент температур воды морей и океанов, воздуха, недр земли /вулканов/ как источники тепловой энергии;
- солнечное излучение как источник лучистой энергии;
- растения и торф как источник химической энергии.

**Топливо** - вещество, выделяющее при определенных экономически целесообразных условиях большое количество тепловой энергии, которая в

дальнейшем используется непосредственно или преобразуется в другие виды энергии.

Топливо бывает:

- горючее- выделяет тепло при окислении, окислитель- обычно  $O_2$ ,  $N_2$ , азотистая кислота, перекись водорода и пр.
- расщепляющееся или ядерное топливо (основа ядерной энергетики  $^{235}U$  (уран 235)).

Горючее делят на **органическое** и **неорганическое**. Органическое горючее- углерод и углеводород. Горючее бывает **природное** (добытое в недрах земли) и **искусственное** (переработанное природное). Искусственное в свою очередь делится на **композиционное** (полученное механической переработкой естественного, бывает в виде гранул, эмульсий, брикетов) и **синтетическое** (произведенное путем термохимической переработки естественного - бензин, керосин, дизельное топливо, угольный газ и т.д.).

Более 90% потребляемой энергии образуется при сжигании естественного органического топлива 3 видов:

- ◆ твердое топливо (уголь, торф, сланцы).
- ◆ жидкое топливо (нефть и газоконденсаты).
- ◆ газообразное топливо (природный газ,  $CH_4$ , попутный газ нефти).

Органическое топливо состоит из следующих составляющих: горючая составляющая (органические ингредиенты - C, H, O, N, S) и негорючая составляющая (состоит из влаги, минеральной части).

Общепринятое слово "горючее" - это топливо, предназначенное для сжигания (окисления). Обычно слово "топливо" и "горючее" воспринимаются как адекватные, т.к. чаще всего "топливо" и бывает представлено "горючим". Однако следует знать и другие разновидности топлива. Так, металлы алюминий, магний, железо и др. при окислении так же могут выделять много теплоты. Окислителем вообще могут быть кислород воздуха, чистый кислород

и его модификации (атомарный, озон), азотная кислота, перекись водорода и т.д.

Сейчас в основном используется ископаемое органическое горючее с окислителем - кислородом воздуха.

Различают три стадии преобразования исходного органического материала:

- ◆ торфяная стадия - распад высокомолекулярных веществ, синтез новых; при частичном доступе кислорода образуется торф и уголь, без доступа кислорода - нефть и газы;
- ◆ буроугольная стадия - при повышенной температуре и давлении идет полимеризация веществ, обогащение углеродом;
- ◆ каменноугольная стадия - дальнейшая углефикация.

Жидкая смесь углеводородов мигрировала сквозь пористые породы, при этом образовались месторождения нефти, газа; высокое содержание минеральных примесей приводило к возникновению горючих сланцев.

Твердое и жидкое органическое топливо характеризуется сложностью химического состава, поэтому обычно дается только процентное содержание (элементный или элементарный процентный состав топлива) химических элементов, без указания структур соединений.

Основной элемент, выделяющий теплоту при окислении - это углерод С, менее - водород Н. Особое внимание следует уделять сере S. Она заключена как в горючей, так и в минеральной части топлива. При сжигании сера влияет на коррозионную активность продуктов сгорания, поэтому это - нежелательный элемент. Влага W в продуктах сгорания представлена внешней ("мокрое" топливо), кристаллогидратной, образованной при окислении водорода. Минеральная часть А - это различные окислы, соли и другие соединения, образующие при сжигании золу.

Состав твердого и жидкого топлива выражается в % по массе, при этом за 100% могут быть приняты:

- 1) рабочая масса - используемая непосредственно для сжигания;
- 2) аналитическая масса - подготовленная к анализу;
- 3) сухая масса - без влаги;
- 4) сухая беззольная масса;
- 5) органическая масса.

Поэтому, например:

$$C^P + H^P + S^P + N^P + A^P + W^P = 100$$

Состав топлива необходим для определения важнейшей характеристики топлива -- теплоты сгорания топлива (теплотворная способность топлива).

**Теплота сгорания топлива** -- это количество тепловой энергии, которая может выделиться в ходе химических реакций окисления горючих компонентов топлива с газообразным кислородом, измеряется в кДж/кг для твердого и жидкого, в кДж/м<sup>3</sup> - для газообразного топлива.

При охлаждении продуктов сгорания влага может конденсироваться, выделяя теплоту парообразования. Поэтому различают высшую  $Q_B^P$  - без учета конденсации влаги, и низшую  $Q_H^P$  - теплоту сгорания, при этом:

$$Q_H^P = 339,1C^P + 1035,94H^P - 108,86(O^P - S^P) - 24,6W^P$$

Средние теплоты сгорания, кДж/кг(кДж/м<sup>3</sup>)  $Q_H^P$

мазут .....	40200
соляр.....	42000
торф.....	8120
бурый уголь.....	7900
антрацит.....	20900
природный газ.....	35800

Для сравнения различных видов топлива их приводят к единому эквиваленту - **условному топливу**, имеющему теплоту сгорания 20308 кДж/кг (7000 ккал/кг). Для пересчета реального топлива в условное используется тепловой эквивалент:

$$K = \frac{Q_H^P}{29308} ,$$

- для угля в среднем - 0,718;
- газа природного - 1,24;
- нефти - 1,43;
- мазут - 1,3;
- торфа - 0,4;
- дров - 0,25.

Твердое органическое топливо по степени углефикации делится на древесину, торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит.

Важной характеристикой, влияющей на процесс горения твердого топлива, является выход летучих веществ (убыль массы топлива при нагреве его без кислорода при 850°C в течение 7 мин). По этому признаку угли делят на бурые (выход летучих более 40%), каменные (10 - 40%), антрациты (менее 10%). Воспламеняемость антрацитов поэтому хуже, но  $Q_H^P$  выше. Это надо учитывать при организации процесса сжигания.

**Зола** - порошкообразный горючий остаток, образующийся при полном окислении горючих элементов, термического разложения и обжига минеральных примесей.

**Шлак** - спекшаяся зола.

Эти продукты сгорания оказывают большое влияние на КПД топочного оборудования (загрязнения, зашлаковка), надежность работы (разрушение обмуровок, пережог труб).

Нефть в сыром виде редко используется как топливо, чаще всего для этой цели идут нефтепродукты. В зависимости от температуры перегонки нефтепродукты делят на фракции: бензиновые (200-225°C); керосиновые (140-300°C); дизельные (190-350°C); соляровые (300-400°C); мазутные (более 350°C). В котлах котельных и электростанций обычно сжигается мазут, в бытовых отопительных установках - печное бытовое (смесь средних фракций).

К природным газам относится газ, добываемый из чисто газовых месторождений, газ конденсатных месторождений, шахтный метан и др. Основной компонент природного газа - метан. В энергетике используется газ, концентрация  $\text{CH}_4$  в котором выше 30% (за пределами взрывоопасности).

Искусственные горючие газы - результат технологических процессов переработки нефти и других горючих ископаемых (нефтезаводские газы, коксовый и доменный газы, сжиженные газы, газы подземной газификации угля и др.).

Из композиционных топлив, как наиболее употребительное, можно назвать брикеты - механическая смесь угольной или торфяной мелочи со связующими веществами (битум и др.), спрессованная под давлением до 100 МПа в специальных прессах.

Синтетическое топливо (полукокс, кокс, угольные смолы) в Беларуси не используется.

Расщепляющееся топливо - вещество, способное выделять большое количество энергии за счет торможения продуктов деления тяжелых ядер (урана, плутония). В качестве ядерного топлива используется природный изотоп урана  $^{235}\text{U}$ , доля которых во всех запасах урана менее 1%.

Природное топливо располагается в земной коре. Запасы угля в мире оцениваются в 14 триллионов тон (Азия - 63%, Америка - 27%). Основные запасы угля - Россия, США, Китай. Все количество угля можно представить в виде куба со стороны 21 км; из него ежегодно "выедается" человеком на свои разносторонние нужды "кубик" с ребром 1,8 км. Очевидно, при таком темпе потребления этого угля хватит на срок порядка 1000 лет. Поэтому, в общем разговоры о топливных и энергетических кризисах скорее имеют политическую, чем ресурсную подоплеку. Другое дело - уголь тяжелое, неудобное топливо, имеющее много минеральных примесей, что усложняет его использование, но главное - запасы его распределения крайне неравномерно.

Общеизвестны страны, обладающие самыми богатыми месторождениями нефти, при этом разведанные запасы нефти все время увеличиваются; прирост идет в основном за счет морских шельфов. Если некоторые страны берегут свои запасы в земле (США), другие (Россия) интенсивно их "выкачивают". Общие запасы нефти в мире ниже, чем угля, но более удобное для использования топливо, особенно в переработанном виде. После подъема через скважину нефть подается потребителям в основном нефтепроводами, железной дорогой, танкерами, расстояние может достигать нескольких тысяч километров. Поэтому в себестоимости нефти существенную долю имеет транспортная составляющая. Энергосбережение при добычи и транспортировке жидкого топлива заключается в уменьшении расхода электроэнергии на прокачку (удаление вязких парафинистых компонентов, нагрев нефти, применение экономичных насосов, увеличение диаметров нефтепроводов).

Природный газ располагается в залежах, представляющих собой купола из водонепроницаемого слоя (типа глины), под которым в пористой среде (передатчик) под давлением находится газ, состоящая в основном из  $\text{CH}_4$ . На выходе из скважины газ очищается от песчаной взвеси, капель конденсата и других включений и подается на магистральный газопровод диаметром 0,5...1,5 м длиной несколько тысяч километров. Давление газа в газопроводе поддерживается на уровне 5 МПа при помощи компенсаторов, установленных через каждые 100...150 км. Компрессоры вращаются газовыми турбинами, потребляющими газ, общий расход газа составляет 10...12% от всего прокачиваемого. Поэтому транспорт газообразного топлива весьма энергозатратен. Транспортные расходы намного ниже для сжигания газа, но и доля его потребления мала. Энергосбережение при добычи и транспорте газообразного топлива заключается в использовании передовых технологий бурения, очистки, распределения, повышения экономичности газотурбинных установок для привода компрессоров магистралей.

Для всех видов топлива коэффициент извлечения из недр составляет 0,3...0,6, а для его увеличения требуются существенные затраты.

### **1.3. Основные типы электростанций.**

**Электрическая станция** – предприятие или установка, вырабатывающая электроэнергию путем преобразования других видов энергии.

Электрические станции вырабатывают электрическую и тепловую энергию для нужд народного хозяйства страны и коммунально-бытового обслуживания. В зависимости от источника энергии различают:

- тепловые электростанции (ТЭС);
- гидроэлектрические станции (ГЭС);
- атомные станции (АЭС) и др.

#### **Тепловые электрические станции.**

К тепловым электрическим станциям относятся конденсационные электростанции (КЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ).

В состав государственных районных электростанций (ГРЭС), обслуживающих крупные промышленные районы, как правило входят конденсационные электростанции, используется органическое топливо и не вырабатывается тепловой энергии наряду с электрической. ТЭЦ работают также на органическом топливе, но в отличие от КЭС наряду с электроэнергией производят горячую воду и пар для нужд теплофикации.

До настоящего времени ТЭС производят основную часть вырабатываемой энергии. По существующим оценкам ТЭС потребляют свыше трети добываемого в мире топлива.

На этих станциях могут применяться различные виды топливных ресурсов: твёрдые: угли и горючие сланцы, жидкие: мазут, дизельное и газотурбинное топливо и газообразные: природный газ – наиболее экологически чистое энергетическое топливо.



На протяжении многих лет наблюдался рост мощностей электростанций по экологическим соображениям. При увеличении мощности электростанции значительно снижаются удельные затраты на сооружение водоснабжения, на железнодорожные пути и автодороги, на подсобно-вспомогательные сооружения. Большое значение имеет также увеличение единичной мощности агрегатов электростанций.

Наиболее эффективным техническим средством для достижения высоких экономических показателей ТЭС является повышение параметров пара. Экономическую эффективность мощных энергоблоков с высокими параметрами пара можно проиллюстрировать такими данными: электростанции с блоками по 300 МВт на 240атм обеспечивают экономию топлива почти на 44% по сравнению с электростанциями, сооружавшимися по плану ГОЭЛРО с агрегатами по 10-16 МВт на 16-18атм.

ТЭС оказывают отрицательное влияние на окружающую среду, осуществляя выбросы продуктов сгорания, золы тепловые сбросы, выбросы загрязненных сточных вод.

**Гидроэлектростанции.** В своё время бывший СССР занимал второе место в мире по уровню развития гидроэнергетики.

Одной из основных экономических особенностей эксплуатации ГЭС является высокая производительность труда. Затраты труда на единицу мощности на них почти в 10 раз меньше, чем на ТЭС (с учётом затрат труда на добычу топлива и его транспорт).

Гидроэлектростанции сооружались каскадами, тогда полнее используются энергетические ресурсы. В бывшем СССР крупнейшим каскадом ГЭС являлся Ангарский и Енисейский.

ГЭС часто относят к энергоустановкам, использующим возобновляемые источники энергии. Однако по сравнению с другими видами природных ресурсов преобразование гидроэнергии в электричество приводит к значительным воздействиям на окружающую среду. Для ГЭС необходимо

сооружать значительные водохранилища в верхнем бьефе перед платиной, что приводит к существенному затоплению прилегающей территории и влияет на рельеф побережья в зоне станции.

### **Атомные электрические станции.**

В настоящее время в мире работает 425 атомных реакторов. В 1993г. Франция получала от АЭС 72,9% электроэнергии, Бельгия – 65%, Швеция – 45%, ФРГ – 30,1%, Япония – 37,7%, Украина – 25%, США – 22,3%, Канада – 15,2%.

Атомные электростанции не выбрасывают в атмосферу вредных веществ, вызывающих парниковый эффект или кислотные дожди, поэтому некоторые специалисты поспешили объявить ядерную энергетику экологически чистой. Чернобыльская катастрофа заставила пересмотреть планы развития атомной энергетики во многих государствах. Так, в США были аннулированы заказы на 173 новых блока АЭС, в Германии на 27, в Англии на 13, во Франции на 12.

Вот мнение иностранных экспертов: ”Ядерная энергетика практически повсюду неконкурентна. Более жёсткими становятся экологические требования к АЭС. Экономисты Мирового банка заявляют, что атомная энергия не может соревноваться с энергией, производимой на тепловых станциях, стоит только подсчитать издержки от вывода из эксплуатации старых реакторов и утилизации отработанного топлива”.

### ***Показатели энергосистемы Республики Беларусь:***

Территория, тыс. км <sup>2</sup>	208
Численность населения, млн. чел	10.3
Потребление электроэнергии на душу населения, кВтч/год	3107

Производство электроэнергии	24.8 млрд.кВтч
Потребление электроэнергии	32.0 млрд.кВтч
Импорт электроэнергии	7.2 млрд.кВтч

#### ***Отпуск тепловой энергии***

С паром на производственные нужды	10.0 млн. ГКал
С горячей водой на отопление и пр.	25.6 млн. ГКал
Всего	35.6 млн. ГКал
в т.ч. из отборов турбин	21.7 млн. ГКал

#### ***Установленная мощность электростанций:***

◆ Конденсационные	2	3330.0 МВт
◆ Теплоэлектроцентрали	20	3879.9 МВт
◆ Гидроэлектростанции	9	6.8 МВт
◆ Промышленные	9	88.0 МВт
◆ Энергосистема, всего	40	7304.7 МВт

#### ***Протяжённость линий электропередач***

◆ Напряжение 750 кВ	418 км
◆ Напряжение 330 кВ	3951 км
◆ Напряжение 220 кВ	2279 км
◆ Напряжение 110 кВ	15957 км

#### ***Протяжённость тепловых сетей***

◆ Магистральных	739.6 км
◆ Распределительных	1285.0 км

Примерно половина всей белорусской электроэнергии производится на двух ГРЭС – **Березовской** и **Новолукомльской**.

**Новолукомльская** ГРЭС была введена в эксплуатацию в 1969г. и 1974г. На ней установлено 8 турбин К-300-240, общая мощность которых составляет 3400 МВт. Помимо этого, здесь установлено 8 котлов ТГМП-114 и ТГМП-314 с производительностью 950 тонн пара в час каждый.

**Березовская** ГРЭС во всех отношениях скромнее. Строилась она ещё в начале 60-х, когда энергосистема Беларуси только начала создаваться. С 1960 по 1967г.г. здесь было введено в строй 6 турбин общей мощностью 920 МВт.

Причиной критики в адрес этих электростанций является неэкономичность их работы: КПД ГРЭС составляет 40-45%. Пар выбрасывается в атмосферу невостребованным.

По гораздо более экономичному циклу работают ТЭЦ /теплоэлектроцентрали/. Здесь пар не выбрасывается, и КПД ТЭЦ составляет 90%. Всего в РБ насчитывается 20 ТЭЦ. Их совокупная мощность более половины общей мощности белорусской энергосистемы. ТЭЦ в крупных городах строились с тем, чтобы обеспечивать энергопотребности предприятий города.

Беларусь, расположенная в центре Европы, обладает достаточно хорошими возможностями вовлечения в энергобаланс различных возобновляемых источников энергии. Согласно оценкам специалистов, освоение характерных для Беларуси возобновляемых источников позволит произвести количество энергии, эквивалентное сжиганию 18-20 млн.т. условного топлива в год. Это более 50% от потребляемого в 1995г. топлива

## **ТЕМА 2. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

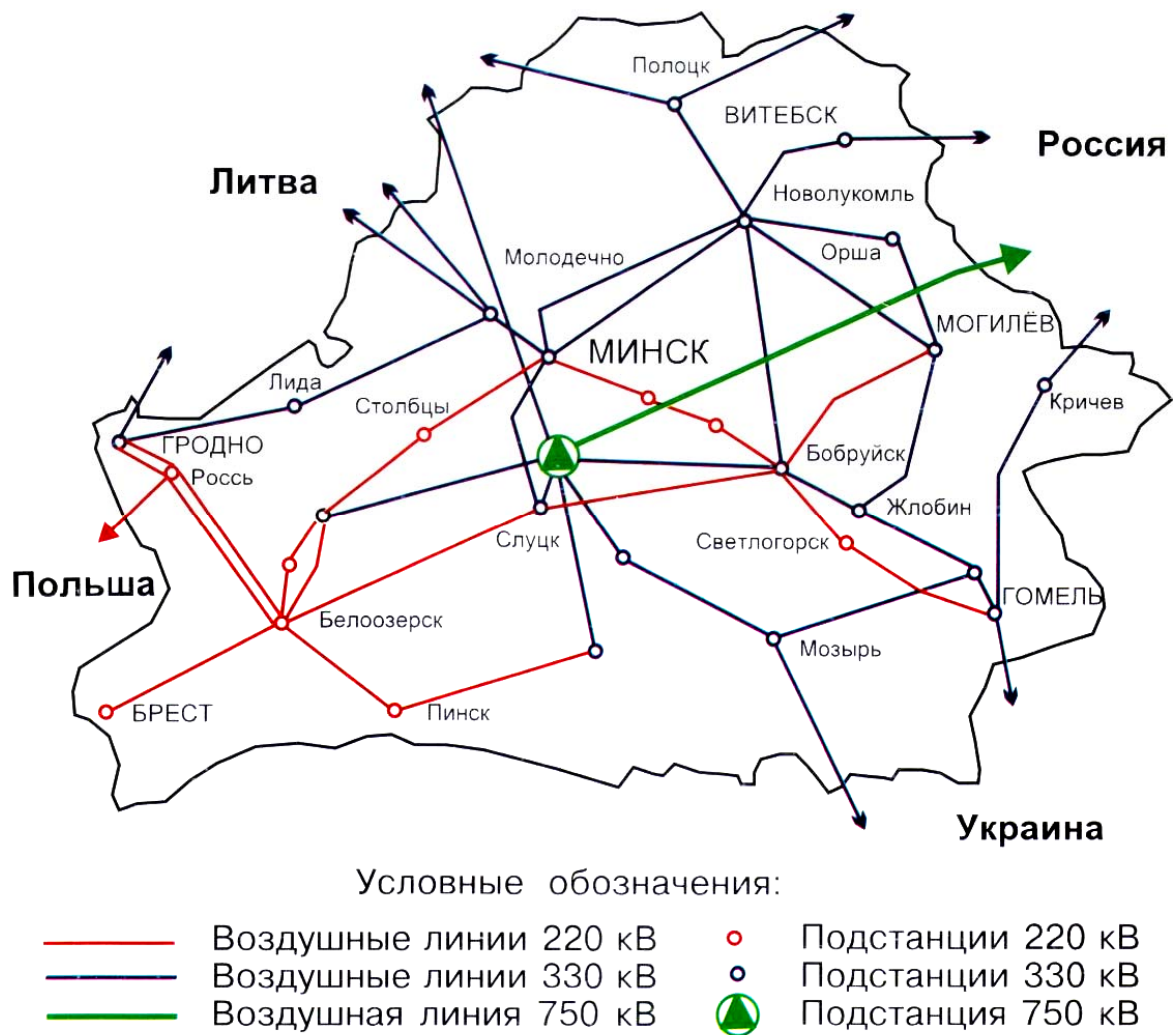
### **2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.**

Произведенная на крупных источниках (ТЭС, котельные) энергия должна быть доставлена потребителям. Основные виды потребляемой энергии - электроэнергия и теплота.

**Качество** электроэнергии, кроме силы потребляемой тока и подведенного напряжения, характеризуется еще двумя важными параметрами: **частота** (должна быть 50 герц, отклонения даже на 0.1 Гц ухудшает работу многих приборов и аппаратов) и **"косинус фи"** - косинус угла между векторами напряжения и силы тока: этот параметр называется еще коэффициентом мощности, т.к. он равен отношению активной мощности к полной. Таким образом, для контроля электроэнергии, отпускаемой потребителю, необходимо иметь следующие приборы: амперметр, вольтметр, частотомер, измеритель  $\cos \varphi$ , электросчетчик. Особенность электроэнергии как товара - непосредственное потребление произведенного, т.к. в электроснабжении пока нет аккумуляторов соответствующей мощности. Поэтому необходимо согласовывать выход энергии у производителя, расходование у потребителя, потери при транспортировке. Естественно, мероприятия по энергосбережению немыслимы без правильного учета потоков энергии. При ухудшении качества электроэнергии потребитель вправе требовать уменьшение цены ее. Электрическая энергия распределяется по линиям электропередач ЛЭП.

**Линия электропередачи (ЛЭП)** - электроустановка для передачи электрической энергии на расстояние, состоящая из проводников тока и вспомогательных устройств. ЛЭП является одним из основных звеньев электрических систем и вместе с электрическими подстанциями образуют

**электрические сети.** Выбор номинального напряжения ЛЭП определяется передаваемой мощностью и расстоянием; различают ЛЭП низкого (до 1кВ), среднего (3...35 кВ), высокого (110...220 кВ), сверхвысокого (330...1000 кВ) и ультравысокого (более 1000 кВ) напряжения. Повсеместно используются главным образом трехфазные ЛЭП переменного тока. На рис.2.1 представлена схема основной электрической сети энергосистемы Республики Беларусь.



*Рис.2.1. Схема основной электрической сети энергосистемы Республики Беларусь*

Электроэнергия - чистый и дорогой продукт, транспорт которого отработан достаточно совершенно; потери электроэнергии на ЛЭП сопоставлены с затратами, уменьшающие их. Потери активной и реактивной

энергии на ЛЭП переменного тока составляют порядка 10%, постоянного тока - несколько меньше, и уменьшение потерь связано с перерасходом дорогих материалов и установкой сложного оборудования. Потребление энергии подразумевает преобразование у потребителя получение энергии в форму, требующуюся потребителю, или для создания определенных условий, продукта, действия (механическая энергия, химические преобразования, температурной уровень и т.д.). Электрическая энергия потребляется практически в момент ее выработки. Основные потребители - электродвигатели, нагреватели, аппараты химического производства, осветители. Чаще используется переменный трехфазный ток. При заданном напряжении для получения одной и той же мощности требуется тем большая сила тока, чем меньше  $\cos \varphi$  ( угол между векторами тока и напряжения). Увеличение силы тока приводит к потерям энергии на нагрев в соединяющих электрогенераторы и приемники линиях электропередачи и к дополнительной нагрузке генераторов, т.е. перерасход топлива на ТЭС. Поэтому используются специальные устройства между генераторами и приемниками - так называемые синхронные компенсаторы (это батареи конденсаторов или вращающаяся электромашин) - для компенсации сдвига фаз и увеличения  $\cos \varphi$  до 1. Для предприятий, потребляющих электроэнергию, должно быть  $\cos \varphi > 0,9$ . Если используется двигатель, установленная мощность которого больше требуемой,  $\cos \varphi$  уменьшается, т.к. бесполезно "прокачивается" по обмоткам двигателя реактивная мощность, идущая на перемагничивание обмоток, не производящая механической работы (на что тратится активная мощность). Поэтому правильный подбор электродвигателей, особенно по мощности - важный фактор энергосбережения. При использовании электроэнергии для нагрева и ведения химических процессов следует уменьшать произвольные тепловые потоки и образования разного вида отходов.

## **2.2. Тепловые сети. Потери энергии при транспортировке тепла.**

Потребление энергии подразумевает преобразование у потребителя получение энергии в форму, требующуюся потребителю, или для создания определенных условий, продукта, действия (механическая энергия, химические преобразования, температурной уровень и т.д.).

**Качество тепловой энергии** должно быть таким, чтобы у потребителя при потреблении ее реализовались требуемые условия: при отоплении - необходимая температура нагревательных приборов, вентиляции - температура воздуха, на паровых машинах - требуется механическая мощность, в технологических процессах - вывод соответствующей продукции (например, количество и качество бетонных или керамических изделий). Поэтому с точки зрения потребителя тепловая энергия должна иметь показания по следующим параметрам: **температура** теплоносителя (обычно воды или пара); **давление** (особенно пара); **расход теплоты** и общее количество теплоты.

Работоспособность (**эксергия**) характеризуется превышением температуры теплоносителя над температурой окружающей среды; для ее определения нужно знать исходные и конечные величины энтальпии и энтропии, которые определяются по температуре и давлению. Тепловая энергия от теплоносителя передается потребителю через теплообменник, его эффективность тем выше чем больше исходная температура. Однако при теплообмене работоспособность теряется. Поэтому необходимо оптимум, выражающийся в максимальном суммарном эффекте. Такой оптимум в настоящее время практически не определяется, и это одно из направлений энергосбережения при производстве и потреблении теплоты.

Температура измеряется различными термометрами, давление - манометрами. Основной прибор для теплоснабжения - тепломер (счетчик тепловой энергии). Его действия основано на уравнении теплового баланса:



потребленная энергия равна подведенной в прямой трубопроводе минус возвращенная в обратный трубопровод (если не возвращаться, то минус состояние при температуре окружающей среды). Следовательно, расход теплоты равен произведению расхода теплоносителя, его теплоемкости, разности температур теплоносителя на входе и выходе у потребителя. Поэтому тепломер представляет собой расходомер воды (пара), в котором учитывается указанная разность температур. Конструкции тепломера различны. Обычно приборы учета потребления теплоты потребителем находятся в тепловых пунктах, их обслуживает жилищно-коммунальная служба.

Необходимо также учитывать расход топлива. Если расход газа и нефти определяется достаточно точно известными типами расходомеров, то данные по расходу твердого топлива (уголь, торф, дрова) менее точны.

Тепловая энергия с точки зрения потерь при транспорте намного сложнее. Основное количество теплоты транспортируется в холодное время года, т.е. при значительной разности температур теплоносителя и окружающей среды; эта разность обуславливает величину потерь. Коэффициент теплоотдачи от элементов теплопередающей системы в окружающую среду даже нормативный, проектируемый составляет существенную величину: от 8 до 35 Вт/(м<sup>2</sup>к), в условиях эксплуатации он может быть еще выше. Если путь теплоносителя к потребителю несколько километров, доля потерь теплоты по отношению к исходному ее количеству может составлять 20...60%.

Тепловая энергия в виде горячей воды или пара транспортируется от ТЭЦ или котельных к потребителям по специальным трубопроводам, которые называются **тепловой сетью**.

Тепловая энергия распределяется при помощи водных тепловых сетей:

- \* Прямой ток: давление 4...10 атм., температура 90...200 °С;
- \* Обратный ток: давление 2...4 атм., температура 70 °С;

Тепловые сети: магистральные (по главным направлениям населенного пункта), распределительные (внутри кварталов), ответвления (подвод к домам),

- делятся на водяные (прямая и обратная трубы) и паровые (паропровод и конденсатопровод), используются стальные трубы от 20 до 600 мм диаметром, покрытые теплоизоляцией. Эти трубы находятся в проходных каналах (одновременно с другими инженерными коммуникациями), в непроходных каналах (обычно коробчатой конструкции из бетонных блоков), или в виде бесканальной прокладки. Чем длиннее трубы (больше радиус действия тепловых сетей), тем больше энергии на прокачку теплоносителя, больше тепловой потери. Поэтому радиус ограничен 10 км. Для последующих потребителей требуется уже другой источник теплоты.

По ходу теплоносителя устраиваются специальные камеры, колодцы (задвижки, вентили, манометры), компенсаторы ("П" - образные, линзовые, сальниковые), стойки, фиксаторы и т.д., увеличивающие теплопотери. Особенно велики теплопотери при открытой прокладке труб (так называемые "воздушные" тепловые сети), требуется большие расходы на теплоизоляцию. Плохая эксплуатация (открытые люки, поврежденная изоляция, влажность, сквозняки и т.д.) увеличивает теплопотери.

Вода нагревается в водогрейном котле ТЭЦ или котельной (или в специальных подогревателях) и насосом подается в тепловую сеть города. Неплотности по трассе, в сальниках насосов ведут к утечкам горячей воды. Температура горячей воды из централизованного теплоисточника колеблется от 90 до 200°C. От теплоносителя вода возвращается с расчетной температурой 70°C. При меньшей обратной температуре: а) необходимы большие размеры нагревательных приборов у потребителей; б) корродируют трубы котлов из-за конденсации водяных паров из продуктов сгорания.

Пар образуется в парогенераторах и с давлением 1,5...2 атм поступает в паровую тепловую сеть; в нагревательных приборах потребителя он конденсируется, остывает и возвращается на ТЭЦ или котельную.

Место подсоединения теплопотребителя к тепловой сети (ввод), называется **тепловым пунктом**, они подразделяются на индивидуальные -

ИТП (для присоединения систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения одного здания) и центральные - ЦТП (два и более здания). В тепловых пунктах устанавливается оборудование для преобразования вида теплоносителя или его параметров, контроля параметров, регулирования расхода теплоносителя и его распределения, защиты от аварийного повышения параметров, заполнения и подпитки систем, сбора и возврата конденсата, аккумулирования теплоты, водоподготовки для горячего водоснабжения. Утечки теплоносителя, плохая теплоизоляция оборудования дают теплопотери.

Основная часть тепловой энергии идет на **отопление**. Отопление - это компенсация тепловых потерь в окружающую среду данного помещения, объекта при условии поддержания в нем заданной температуры. Если температура в помещении больше, чем снаружи, то всегда имеется тепловой поток, называемый теплопотерями. Этот поток никогда не равен нулю (только при равенстве температур). т.е. все тепло, введенное в помещение, в конце концов оказывается в окружающей среде. Поэтому неуместны восклицания о том, что "греем небо". Другое дело - величина, интенсивность этого потока (количество тепла в единицу времени). Она зависит от термического сопротивления наружных ограждений - стен, окон, потолка, пола и т.д. (толщина деленная на теплопроводность). Очевидно, увеличивая толщину и переходя на более совершенный теплоизоляционный материал, можно уменьшить теплопотери, уменьшить необходимую мощность системы отопления, уменьшить расход топлива на получения тепловой энергии. Однако при этом возрастает стоимость сооружения, поэтому термическое сопротивление нормируется. Нахождение оптимума по минимуму затрат - наиболее правильный путь энергосбережения, но чаще нормы усредняют расчет для разных потребителей. Поэтому с точки зрения энергосбережения желательно для конкретных практических случаев уточнять экономически целесообразные термические сопротивления ограждений.

В системах отопления тепло передается в помещении при помощи нагревательных (отопительных) приборов; обычно это чугунные и стальные радиаторы и конвекторы. Для повышения эффективности работы отопительных приборов следует:

- 1) не ограждать их декоративными решетками;
- 2) не заглублять в ниши;
- 3) использовать темную окраску;
- 4) при большом количестве секций делить на несколько батарей;
- 5) не располагать их высоко;
- 6) при установке на наружных стенах применять теплоизоляцию со стороны стены;
- 7) иметь отключающий и регулирующий вентиль;
- 8) следить за чистотой межреберного пространства в конвекторах.

По условиям энергосбережения недопустимо использовать электроэнергию для отопления зданий, т.к. для производства единицы электроэнергии необходимо несколько единиц тепловой (получающейся при сжигании топлива). Конечно, бывают единичные случаи, когда вынуждены применять электрообогрев, но надо стремиться к получению теплоты при сжигании топлива, ибо КПД в этом случае близко к 100%. Отрицательные факторы при этом - топливное хозяйство, необходимость очистки газов, пожарная безопасность. При правильном использовании совершенных теплогенераторов огневого типа эффект энергосбережения безусловен.

### **2.3. Графики электрических и тепловых нагрузок.**

#### **Структура энергопотребления в Республике Беларусь.**

В Беларуси есть централизованная энергосистема электростанций суммарной мощностью 7.2 МВт с линиями электропередач и тепловыми

сетями, а также развитая система газо- и нефтепроводов. Из собственных запасов добывается около 2 млн. тонн нефти, 0.3 млрд.м<sup>3</sup> природного газа, 4-5 млн. тонн торфа, 5-6 млн.м<sup>3</sup> древесины. В 1999г. собственные

энергоресурсы Беларуси составили примерно 15% от потребляемых ТЭР.

Предполагается, что в общем объёме топлива в 2000г. доля природного газа превысит 70%, а мазута составит около 20-30%, т.е. энергетика Беларуси ориентирована на экологически чистое топливо – природный российский газ. Потребление тепловой и электрической энергии в течение времени суток носит неравномерный характер (рис.2.2). Также неравномерный характер представляет график потребления тепловой энергии в зависимости от времени года (рис.2.3).



Рис.2.2 Среднесуточный график потребления электроэнергии в рабочий день

### Режимы

теплопотребления имеют значение при планировании теплоснабжения объектов.

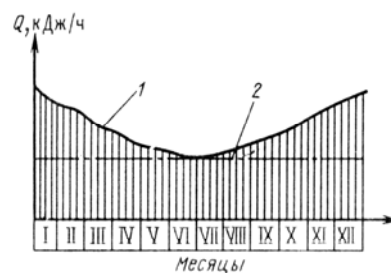


Рис.2.3. Годовой график потребления теплоты потребителем: 1- неравномерное; 2 - равномерное



Рис.2.4 Структура теплоэлектропотребления в Республике Беларусь

Имея годовой график теплопотребления (рис.2.3), можно подсчитать общий годовой расход теплоты  $Q_{г}$ , как площадь под кривой тепловых нагрузок. Режимы расходования теплоты различными предприятиями различны.

Существуют потребители, расходующие теплоту круглый год, например, горячее водоснабжение, но неравномерно (в течение суток, недели, месяца и т.д.). Некоторые потребители расходуют теплоту в течение всех дней недели, другие потребляют ее на технологические нужды лишь в рабочие дни, а в субботу и воскресенье оставляют работающими только системы отопления. Неравномерное потребление теплоты в течение суток характерно для предприятий с одно- двухсменным режимом работы. Потребление тепловой и электрической энергии сильно дифференцировано по отраслям народного хозяйства. Из диаграмм рис.2.4 видно, что в Республике Беларусь основным потребителем электроэнергии является промышленность, а тепловой энергии жилищные организации.

## **ТЕМА 3. НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

**Возобновляемые** - это ресурсы, энергия которых непрерывно восстанавливается природой: энергия рек, морей, океанов, солнца, ветра, земных недр и т.п.

**Невозобновляемые** - это ресурсы, накопленные в природе ранее, в далекие геологические эпохи, и в новых геологических условиях практически не восполняемые (органические топлива: уголь, нефть, газ). К невозобновляемым энергоресурсам относится также ядерное топливо.

Энергетика на ископаемом топливе (тепловые, конденсационные электрические станции, котельные) стала традиционной. Однако оценка запасов органического топлива на планете с учетом технических возможностей их добычи, темпов расходования в связи с ростом энергопотребления показывает ограниченность запасов. Особенно это касается нефти, газа, высококачественного угля, представляющих собой ценное химическое сырье, которое сжигать в качестве топлива нерационально и расточительно. Отрицательное влияние оказывает сжигание больших количеств топлива в традиционных энергетических установках на окружающую среду: загрязнение, изменение газового состава атмосферы, тепловое загрязнение водоемов, повышение радиоактивности в зонах ТЭС, общее изменение теплового баланса планеты.

Практически неисчерпаемы возможности ядерной и термоядерной энергетики, но с ней связаны проблемы теплового загрязнения планеты, хранения радиоактивных отходов, вероятных аварий энергетических гигантов.

В связи с этим во всем мире отмечается повышенный интерес к использованию нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Их природа определяется процессами на Солнце, в глубинах Земли, гравитационным взаимодействием Солнца, Земли и Луны. 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 ими естественного ландшафта.

В настоящее время возобновляемые энергоресурсы используются незначительно. Их применение крайне заманчиво, многообещающе, но требует больших расходов на развитие соответствующей техники и технологий. При ориентации части энергетики на возобновляемые источники важно правильно оценить их долю, технически и экономически оправданную для применения. Эта задача - оценить, использовать потенциал возобновляемых ресурсов, найти их место в топливно-энергетическом комплексе - стоит перед экономикой Беларуси. Ее решение поможет смягчить дефицитность энергосистемы республики, позволит снизить зависимость от импорта энергоресурсов, будет способствовать стабильности экономики и политической независимости.

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 возобновляемых 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 порядка 250 км.

При выборе источников энергии следует иметь в виду их качество. Последнее оценивается долей энергии источника, которая может быть превращена в механическую работу. Электроэнергия обладает высоким качеством. С помощью электродвигателя более 95% ее можно превратить в механическую работу. Качество тепловой энергии, получаемой в результате сжигания топлива на тепловых электростанциях, довольно низкое - около 30%.

Возобновляемые источники энергии по их качеству условно делят на три группы:

1.Источники механической энергии, обладающие довольно высоким качеством:

- ветроустановки - порядка 30%,
- гидроустановки - 60%,
- волновые и приливные станции - 75%.

2.Источники тепловой энергии:

- прямое или рассеянное солнечное излучение,
- биотопливо, обладающее качеством не более 35%.

3.Источник энергии, использующие фотосинтез и фотоэлектрические явления, имеют различное качество на разных частотах излучения; в среднем КПД фотопреобразователей составляет порядка 15%.

Основными нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии для Беларуси являются гидро-, ветроэнергетические, солнечная энергия, биомасса, твердые бытовые отходы.

### **3.1.Солнечная энергетика.**

#### **Возможность использования солнечной энергии.**

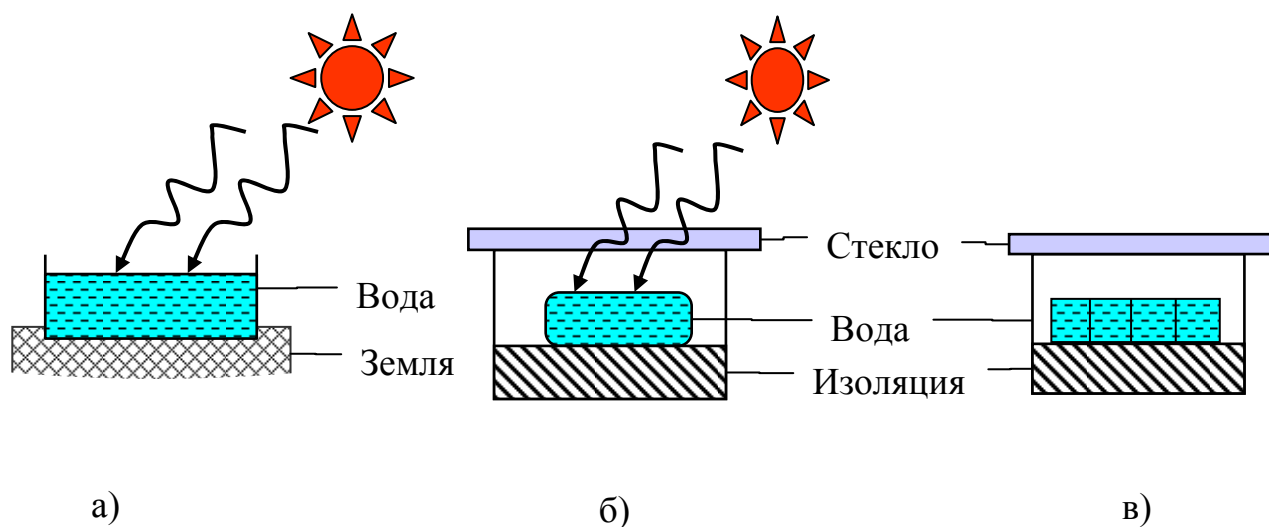
Известно два направления использования солнечной энергии. Наиболее реальным является преобразование солнечной энергии в тепловую и использование в нагревательных системах. Второе направление - системы непрямого и прямого преобразования в электрическую энергию.

#### **Прямое преобразование солнечной энергии в тепловую.**

Солнечные нагревательные системы могут выполнять ряд функций:

- подогрев воздуха, воды для отопления и горячего водоснабжения зданий в районах с холодным климатом;
- сушку пшеницы, риса, кофе, других сельскохозяйственных культур, лесоматериалов для предупреждения их поражения насекомыми и плесневыми грибами;
- поставлять теплоту, необходимую для работы абсорбционных холодильников;
- опреснение воды в солнечных дистилляторах;
- приготовление пищи;
- привод насосов.

На рис.3.1 представлены три из большого числа конструкций нагревателя воды, отличающихся по эффективности и стоимости.



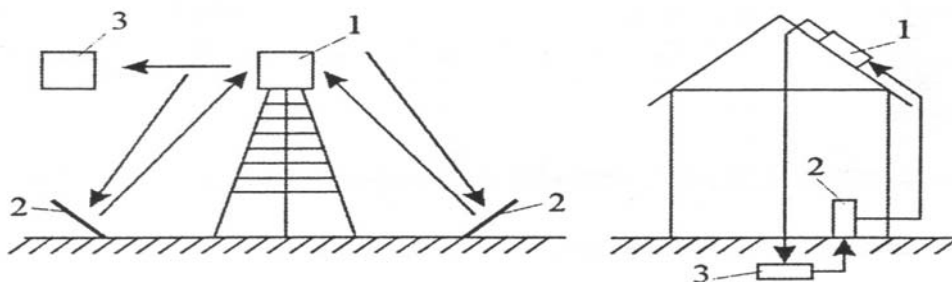
**Рис.3.1. Приемники солнечного излучения**

- а) - открытый резервуар на поверхности Земли. Тепло уходит в Землю;  
б) - черный резервуар в контейнере со стеклянной крышкой с изолированным дном;  
в) - заполненная водой металлическая плоская емкость. Стандартный промышленный приемник: нагревая жидкость протекает через него и накапливается в специальном резервуаре.

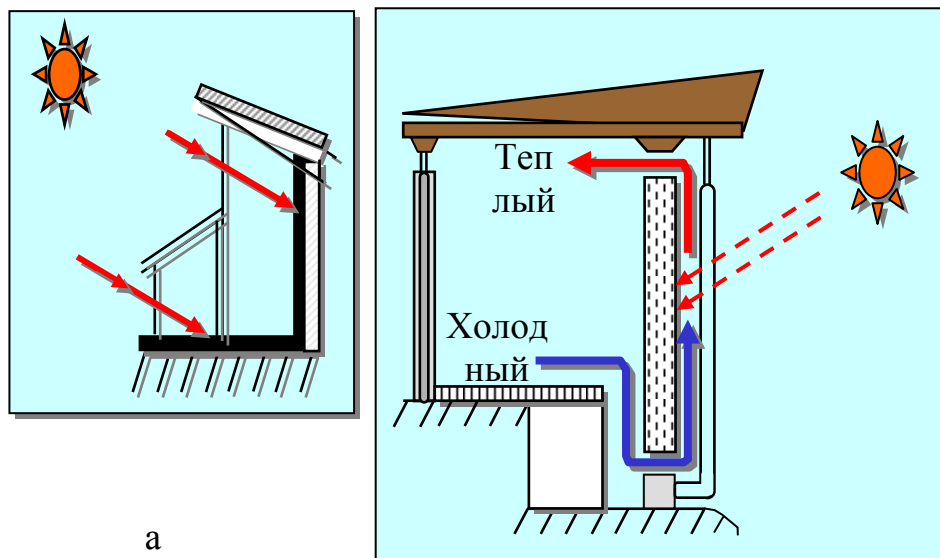
Для отопления зданий зимой могут применяться так называемые пассивные и активные солнечные системы. На рис.3.2а показан пассивный солнечный нагреватель: солнечные лучи попадают на заднюю стенку и пол здания, представляющие собой массивные конструкции с усиленной теплоизоляцией, окрашенные в черный цвет. Недостаток такой системы прямого нагрева - медленный подъем температуры в зимние дни и чрезмерная жара летом - устраняется с помощью накопительной стенки с солнечной стороны (рис.3.2б). Стенка работает как встроенный воздушный нагреватель с тепловой циркуляцией. Летом такую стену может затенять козырек крыши.

Активные солнечные отопительные системы используют внешние нагреватели воздуха и воды. Их можно устанавливать на уже существующие здания.

В системах непрямого преобразования в электрическую - на гелиотермических электростанциях солнечная энергия, аналогично энергии органического топлива на ТЭС, превращается в тепловую энергию рабочего тела, например, пара, а затем в электрическую. Можно создать гелиотермические электростанции мощностью до нескольких десятков - сотен мегаватт. Концентрация солнечной энергии может осуществляться с помощью рассредоточенных коллекторов в форме параболоидов диаметром более 30м.



*Рис.3.2 Пассивные солнечные нагреватели:  
а - прямой нагрев задней стенки здания: использованы массивные, окрашенные в черный цвет поверхности с усиленной теплоизоляцией для поглощения и накопления солнечной теплоты;  
б - здание с накопительной стенкой.*



а

б

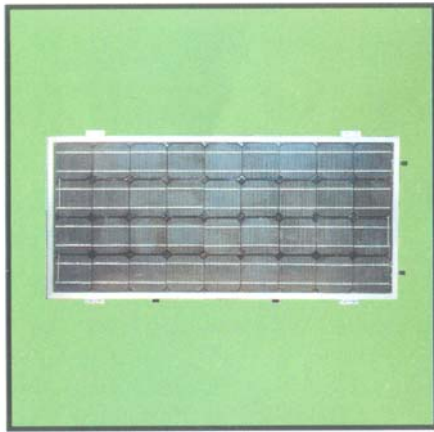
*Рис.3.3 Солнечные системы накопления тепловой энергии.*

*а) солнечная электростанция башенного типа:*

*1 - солнечный котел; 2 - гелиостат; 3 – паровая*

Каждый из них независимо следит за Солнцем и передает его энергию теплоносителю. Альтернативный вариант - солнечные электростанции башенного типа. На них системы плоских зеркал, расположенные на большой площади, отражают солнечные лучи на центральный теплоприемник на вершине башни (рис.3.3).

К сожалению, КПД преобразования солнечной энергии в электрическую на гелиотермических электростанциях составляет не более 10%, а стоимость получаемой электроэнергии несопоставима с ее стоимостью на ТЭС и даже АЭС. Серьезная проблема - непостоянство солнечного излучения в течении суток, его зависимость от времени года. Для обеспечения круглосуточного энергоснабжения требуется аккумулялирование энергии. В этой связи рациональна совместная работа гелиотермической и гидроаккумулялирующей электростанций.



батарея солнечная  
с аккумулятированием  
электроэнергии

Заманчиво и многообещающе прямое превращение солнечной энергии в электрическую с помощью солнечных элементов (рис.3.4), в которых используется явление фотоэффекта. В настоящее время наиболее совершенны кремниевые фотоэлементы. Их КПД составляет не более 15%, и они очень дороги. 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 спутниках электроэнергия будет преобразовываться в электромагнитные волны в микроволновом диапазоне частот, направляться на Землю, где принимается приемной антенной. Второй предполагает монтаж сборных панелей солнечных фотоэлектрических элементов в малонаселенных и малоиспользуемых пустынных районах Земли.

Для территории Беларуси свойственны относительно малая интенсивность солнечной радиации и существенное изменение ее в течение суток года. В этой связи необходимо отчуждение значительных участков земли для сбора солнечного излучения, весьма большие материальные и трудовые затраты. Поэтому для нашей республики реально использование солнечной энергии для сушки кормов, семян, фруктов, овощей, подъема и подогрева воды на технологические и бытовые нужды. В результате возможная экономия топливно-энергетических ресурсов оценивается всего в 5000 у.т./год.

### 3.2. Ветроэнергетика и малая гидроэнергетика.

Гидроэнергетика - это область наиболее развитой энергетики на возобновляемых ресурсах, использующая энергию падающей воды, волн и приливов.

Цель гидроэнергетических установок - преобразование потенциальной энергии воды в механическую энергию вращения гидротурбины.

Принципиальная схема производства электроэнергии на гидроэлектростанции представлена на рис.3.5. С помощью плотины в водохранилище создается запас потенциальной энергии воды. Через подводящий (напорный) водопровод вода под напором подается на турбину, с помощью которой кинетическая энергия падающей воды превращается в механическую энергию вращения турбины и далее вала электрогенератора. КПД превращения энергии воды в электрическую энергию в гидроэнергетических установках оказывается порядка 50%.

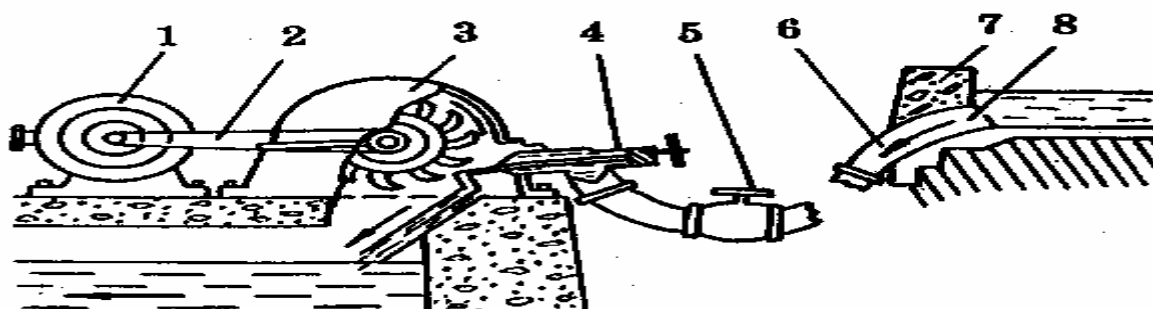


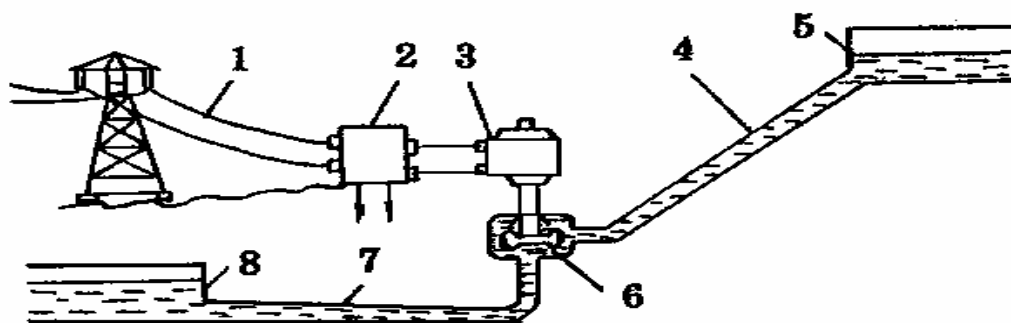
Рис.3.5. Схема гидроэлектростанции.

1-электрогенератор; 2 – приводной ремень; 3 – гидротурбина;  
4 – сопло; 5 – вентиль; 6 – водовод; 7 – плотина; 8 – решетка.

Основные параметры, от которых зависит мощность ГЭС,- это расход воды, т.е. количество воды, подаваемой на турбину в единицу времени, и напор-перепад между водной поверхностью водохранилища и уровнем установки гидроагрегата. Поэтому мощность ГЭС, количество и стоимость вырабатываемой ею электроэнергии в конечном итоге зависят от топографических условий в районе размещения водохранилища и ГЭС.

Наиболее сложные проблемы гидроэнергетики - ущерб, наносимый окружающей среде водохранилищами (уничтожение уникальной флоры и фауны, затопление плодородных почв, климатические изменения, потенциальная угроза землетрясений и др.), заиливание гидротурбин, их коррозия, большие капитальные затраты на сооружение ГЭС. 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 1000 МВт. Однако практически реализуемый потенциал малых рек и водотоков Беларуси составляет едва ли 10% этой величины, что эквивалентно экономии 0,1 млн. тонн условного топлива. Для достижения большего пришлось бы затопить значительные площади из-за равнинного характера рек. К концу 60-х годов в Беларуси эксплуатировалось около 180 малых ГЭС (МГЭС) общей мощностью 21 МВт. В настоящее время осталось лишь 6 действующих МГЭС. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) предполагается сооружать для использования избыточной мощности при снижении потребления электроэнергии в ночное время и нерабочие дни при вводе в Белорусской энергосистеме энергоисточников на ядерном топливе.

Принципиальная схема ГАЭС дана на рис.3.6.



*Рис.3.6 Схема гидроаккумулирующей электростанции.*

- 1 – линия электропередачи; 2 – трансформатор; 3 – двигатель-генератор;  
4 – напорный водовод; 5 – верхний резервуар; 6 – насос-турбина;  
7 – водовод; 8 – нижний резервуар.*



При малых нагрузках в энергосистеме электроэнергия от базисных электростанций (ТЭС, АЭС) может использоваться в действии насосов, перекачивающих воду нижнего водохранилища в верхнее. В периоды пика вода пропускается обратно в нижнее водохранилище, проходя через гидроагрегат и вырабатывая дополнительную электроэнергию для пиковых нагрузок. Возможны надземный и подземный варианты сооружения ГАЭС.

Основные направления развития гидроэнергетики РБ является восстановление старых МГЭС путем капитального ремонта и частичной замены оборудования; сооружение новых МГЭС на водохранилищах неэнергетического (комплексного) назначения, на промышленных водосбросах; строительство бесплотинных ГЭС на реках со значительным расходом воды.

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

Энергию ветра человек начал применять в глубокой древности для приведения в движении парусных кораблей, мельничных колес. В наше время она используется для выработки электроэнергии. Это - наиболее эффективный способ утилизации энергии ветра. В ветроэнергетической установке (ВЭУ) кинетическая энергия движения воздуха превращается в энергию вращения ротора генератора (рис.3.7), который вырабатывает электроэнергию.

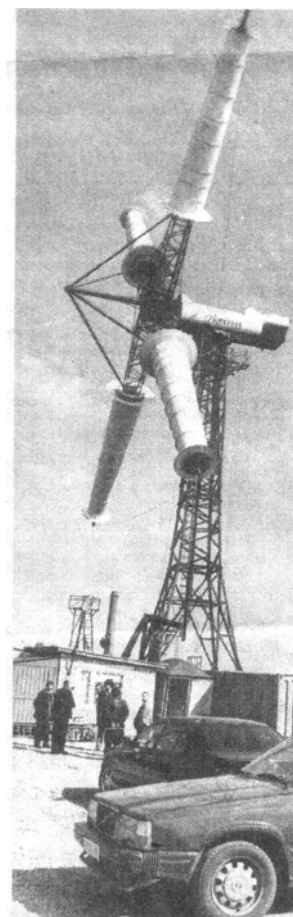


Рис.3.7.

Выходная мощность установки пропорциональна площади лопастей ветрового ротора и скорости ветра в кубе. Поэтому ветроэнергетические установок большой мощности оказываются крупногабаритными, ведь скорость ветра в среднем бывает небольшой.

Для защиты от разрушения сильными случайными порывами ветра установки проектируются со значительным запасом мощности. Трудности в использовании ветроустановок 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 перебоев 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 20 кВт, и созданы установки мощностью до 3-4 МВт. Срок службы таких генераторов порядка 20 лет. Стоимость вырабатываемой ими электроэнергии будет меньше, чем на ТЭС на жидком топливе. 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.

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. Поэтому ветроэнергетику можно рассматривать в качестве вспомогательного энергоресурса, решающего местные проблемы, например, отдельных фермерских хозяйств. Основными направлениями

использования ВЭУ в нашей республике на ближайший период будет их применение для привода насосных установок и как источников энергии для электродвигателей. Готовиться к серийному выпуску ветроустановка ротационного типа (рис.3.7) мощностью 5-8 кВт, устойчиво работающая при скорости ветра 3.5 м/с. Разрабатывается и готовится к испытаниям более мощная ВЭУ с горизонтальным ветроколесом. Автономные ВЭУ обязательно должны комплектоваться резервными источниками электроэнергии или аккумуляторными батареями.

### **3.3. Энергия биомассы.**

Под действием солнечного излучения в растениях образуется 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 метанол, твердый древесный уголь. Продукты сгорания биотоплива путем естественных экологических или сельскохозяйственных процессов вновь превращаются в биотопливо. Система круговорота биомассы показана на рис.3.8.

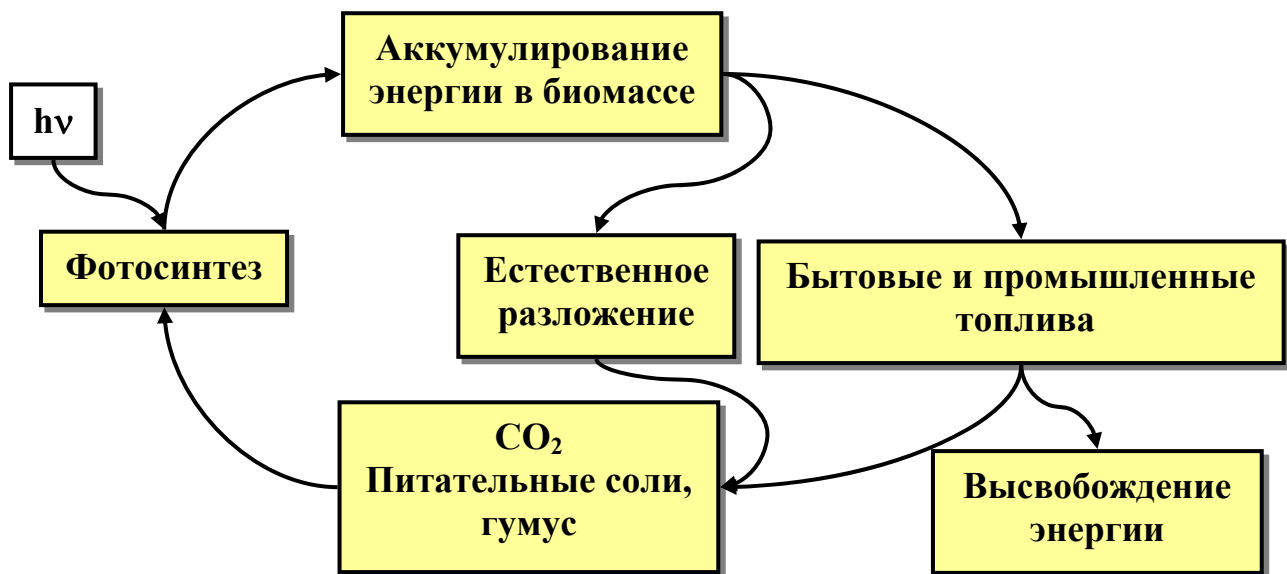


Рис.3.8. Система планетарного круговорота биомассы

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 биомассы:

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

Получаемые в результате переработки виды биотоплива и ее КПД приведены в таблице 3.1.

## Источники биомассы и производимые биотоплива

Таблица 3.1

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

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 50 м<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 1га энергетических плантаций собирается масса растений в количестве до 10 т сухого вещества, что эквивалентно примерно 5т у.т. при дополнительных агроприемах продуктивность 1га может быть повышена 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 на уровне 2000 г. около 890 млн. куб. м в год, что эквивалентно 160 тыс. т у.т.

Сдерживающим фактором развития биогазовых установок в республике являются продолжительные зимы, большая металлоемкость установок, неполная обеззараженность органических удобрений.

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%. Горючие компоненты в ТБО равны 50-88%. Их теплотворная способность - 800-2000 ккал/кг. Бытовые отходы содержат такие трудноразлагаемые химические элементы, в их числе хлорорганические и токсичные. В большей 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 складирована на полигонах или компостируется. В США сжигается около 14% ТБО, в Германии - 30%, Италии - 25%.

В Республике Беларусь ежегодно накапливается 2.4 млн.т 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.

Общие возможности экономии ТЭР за счет применения нетрадиционных и возобновляемых источников для условий РБ ограничены. Они оцениваются в 200-540 тыс. т у.т. в год, т.е. порядка 0.5-1% общих потребностей Беларуси в ТЭР. Основными потребителями возобновляемых энергоресурсов могут стать объекты сельского хозяйства. Возобновляемые источники энергии могут решать в основном локальные задачи энергообеспечения и служить необходимым дополнением к традиционной энергетике на органическом топливе и ядерной энергетике.

## **ТЕМА 4. ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ**

### **4.1. Классификация вторичных энергетических ресурсов.**

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках), который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других агрегатов.

Рациональное использование вторичных энергетических ресурсов является одним из крупнейших резервов экономии топлива, способствующим снижению топливо- и энергоемкости промышленной продукции. ВЭР могут использоваться непосредственно без изменения вида энергоносителя для удовлетворения потребности в топливе и теплоте или с изменением энергоносителя путем выработки теплоты, электроэнергии, холода или механической работы в утилизационных установках.

По виду энергии ВЭР разделяются на 3 группы:

- Горючие (или топливные) ВЭР (отходы, содержащие углеродные и углеводородные включения: доменный газ, городской мусор, органические отработанные растворители и т.д.);
- Тепловой ВЭР (любые теплоносители, имеющие температуру выше температуры окружающей среды, способные передать тепло для последующего использования: горячие газы и жидкости, являющиеся промежуточными или сбросными в данном технологическом процессе);
- ВЭР избыточного давления (газы и жидкости под давлением, которое можно использовать перед сбросом в окружающую среду).

Энергетический потенциал ВЭР реализуется в утилизационных установках (котлы-утилизаторы, теплообменники, печи, турбины и т.д.).



## **4.2. Источники вторичных энергетических ресурсов.**

### **Использование вторичных энергетических ресурсов.**

Наибольшими тепловыми вторичными энергетическими ресурсами располагают предприятия черной и цветной металлургии, химической, нефтехимической промышленности, промышленностью строительных материалов, газовой промышленностью, тяжелого машиностроения и некоторых других отраслей народного хозяйства. В этих отраслях широко используется теплота высокого, среднего и низкого потенциалов.

В зависимости от видов и параметров рабочих тел различают четыре основных направления использования ВЭР:

- топливное (непосредственное использование горючих компонентов в качестве топлива);
- тепловое (использование теплоты, получаемой непосредственно в качестве вторичных энергетических ресурсов, или теплоты или холода, вырабатываемых за счет вторичных энергетических ресурсов в утилизационных установках или в абсорбционных холодильных установках);
- силовое (использование механической или электрической энергии, вырабатываемой в утилизационных установках (станциях));
- комбинированное (использование теплоты, электрической или механической энергии, одновременно вырабатываемых за счет ВЭР).

Современный этап развития техники характеризуется разработкой и широким использованием достаточно надежных типов оборудования для утилизации тепловых ВЭР. При создании такой техники возникают объективные трудности, связанные в основном с различными ограничениями в транспортировке теплоты, выработанной за счет средне- и низкопотенциальных ВЭР, и необходимостью ее использования вблизи мест образования тепловых

отходов. В то же время промышленные отходы в виде средне- и низкопотенциальных ВЭР поистине огромны (сбросная горячая вода, нагретые продуктовые потоки, уходящие газы средней температуры, вторичный и отработанный пар, конденсат и т.д.).

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

Применение теплонасосных установок и трансформаторов для утилизации тепловых ВЭР и других местных низкотемпературных источников теплоты позволяет на 20...60 % снизить расходы топлива. Надо иметь в виду, что за рубежом в настоящее время уже работает несколько миллионов теплонасосных отопительных систем. Эти системы используют не только тепловые отходы производства, но и теплоту окружающего воздуха, грунта, воды рек, озер и других водоемов, сточных вод и коммунальных стоков и др. Теплонасосные установки и термо-трансформаторы за счет использования теплоты низкопотенциальных источников могут снабжать теплотой нужного потенциала и такие производственно-технологические агрегаты, как моечные машины, сушильные установки, выварочные ванны, устройства для подогрева и регенерации масел, системы очистки, обмывки и сушки подвижного состава на транспорте, системы разогрева смерзшихся грузов и удаления их остатков из вагонов и цистерн и др. Следовательно, теплонасосные установки, или термотрансформаторы, могут заменить такие традиционно используемые генераторы среднепотенциальной теплоты, как малоэкономичные паровые или водогрейные котлы, а также бойлерные или калориферные системы, питающиеся от местных либо центральных котельных.

Тепловые насосы, работающие на низко- и среднепотенциальных тепловых ВЭР, применяются также для выработки холода, который необходим как в нефтеперерабатывающей промышленности, в химических и

нефтехимических производствах, так и для кондиционирования воздуха в промышленных и жилых помещениях в летний период.

Наиболее распространенными являются варианты выработки энергии (тепловой или электрической) за счет ВЭР в тепловом насосе или трансформаторе с дальнейшим использованием ее в холодильной установке (рис.4.1).

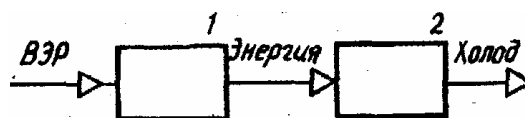


Рис.4.1 Комбинированная схема использования тепловых ВЭР производства для выработки холода:

1 – тепловой насос; 2 – холодильная машина.

В целом следует отметить, что для установок утилизации тепловых ВЭР характерно энергокомбинирование, т.е. комплексность в решении проблемы использования различных источников теплоты.

Низкопотенциальные тепловые отходы (отработанный и вторичный пар, теплый влажный воздух, конденсат и другие виды ВЭР) удобнее и экономичнее улавливать и преобразовывать с помощью термохимических трансформаторов. Самый общедоступный источник низкопотенциальной теплоты — окружающая среда, атмосферный воздух, естественные водоемы, геотермальные воды и т.п. Кроме того, огромный резерв теплоты одержит обратная и повторно используемая вода систем охлаждения машин и рабочих тел в различных технологических процессах. Такая вода имеет температуру 20..40°C. что не позволяет использовать ее теплоту непосредственно, Выделение же ее в атмосферу (в масштабах страны до 4 млрд ГДж в год) наносит природе большой урон из-за теплового загрязнения биосферы. Таким образом, утилизация таких источников теплоты низкого потенциала - вопрос не только экономии первичных источников энергии (топлива), но и решение задачи охраны окружающей среды. Решение таких вопросов станет возможным в результате замены градирен и других охладителей оборотной воды испарителями

тепловых насосов и термотрансформаторов. В этом и состоит наиболее рациональное использование тепловых отходов для удовлетворения потребностей в энергии при сокращении расхода топлива на цели теплофикации. Следует лишь провести тщательное технико-экономическое обоснование выбора схемы теплоснабжения с учетом конкретных источников теплоты, имеющихся в наличии у потребителей, а также сделать обоснованный выбор теплонасосной установки параметров (за счет тепловых ВЭР вместо дополнительных котельных на первичной энергии) сводится к определению дополнительных капитальных затрат и ежегодных расходов на проектируемую ТЭЦ с котлами-утилизаторами, используемыми для теплоснабжения, и сравнению их с такими же затратами, но при установке дополнительно тепловых насосов для комбинированного энергопроизводства. Это значит, что применение тепловых насосов окажется рациональным.

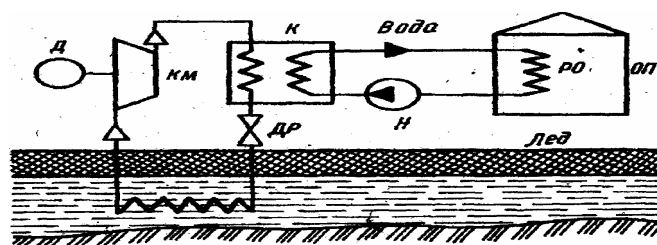


Рис. 4.2 Схема теплонасосного отопления с использованием теплоты водоемов:

*И — испаритель; К — конденсатор; КМ — компрессор; ДР — дроссель; Н — насос; ОП — отапливаемые помещения; РО — радиатор отопления*

Для отопления жилых и производственных помещений в зимний период экономически целесообразны тепловые насосы по парожидкостной схеме.

Возможная схема теплонасосного отопления помещения с использованием теплоты естественных водоемов приведена на рис.4.2. Последняя схема пригодна и для получения теплоты отопления из грунта

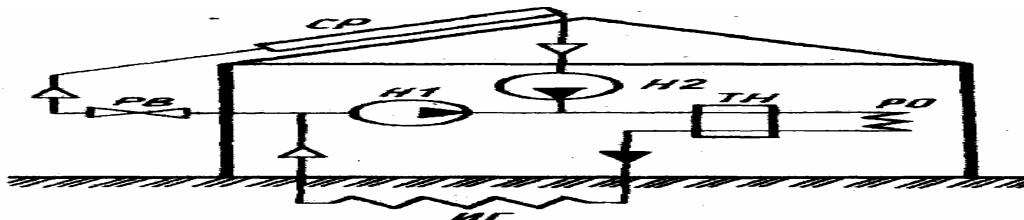


Рис.4.3 Схема с комбинированным использованием теплоты грунта и солнечной радиации

или сточных вод. Привод компрессора обычно обеспечивается дизелем, поскольку утилизация его тепловых потерь оказывает положительное влияние на показатели отопительной системы в целом. Наиболее распространенной за рубежом является схема с комбинированным использованием теплоты грунта и солнечной радиации (рис. 4.3).

Следует отметить, что уровень внедрения теплонасосных установок в республике еще невелик. Низкопотенциальные ВЭР либо используются очень мало, либо вовсе не находят еще должного применения. Между тем такие тепловые отходы образуются практически во всех отраслях промышленности, на всех предприятиях. Только использование теплоты охлаждающей воды позволит в масштабах страны ежегодно экономить до 50 млн.т. топлива (условного). Это в 2,5 раза превышает экономию, достигаемую от комбинированной выработки энергии на ТЭЦ, и в 5 раз — экономию за счет различных усовершенствований в области производства электроэнергии.

Следовательно, для этого необходимо определить зоны концентрации тепловых выбросов предприятий, провести качественный анализ состава ВЭР и разработать карту тепловых выбросов. Все это позволит не только правильно оценить эффективность использования тепловой энергии потребителями, но и

подобрать наиболее рациональную схему возвращения ВЭР в цикл полезного использования.

## **ТЕМА 5. АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

### **5.1. Значение процессов аккумуляции.**

Устройства для преобразования возобновляемой энергии по сравнению с установками на обычном и ядерном топливе различаются по требованиям к аккумуляции и передаче на расстояние. Такие особенности возобновляемых источников, как низкая интенсивность и рассеянность, делают для них предпочтительным децентрализованное потребление. Более того, энергию от этих источников часто не нужно будет передавать на большие расстояния, так как источники уже распределены в пространстве.

Так как полезность устройств для преобразования возобновляемой энергии основана на переработке независимых от нас естественных потоков, существует проблема приведения в соответствие выработки энергии и потребности в ней в рамках временного спроса, т.е. в выравнивании скорости потребления энергии. Последняя изменяется во времени в масштаба месяцев (например, для обогрева жилищ в зонах умеренного климата), дней (например, для искусственного освещения) и даже секунд (в моменты включения крупных нагрузок). В противоположность энергетике на традиционном топливе получаемая из окружающей среды мощность возобновляемых источников нам не подконтрольна.

У нас есть выбор: либо подгонять нагрузку к интенсивности, доступной для преобразования возобновляемой энергии, либо накапливать энергию для последующего использования. У нас на выбор самые различные способы аккумуляции:

- химические;
- тепловые;
- электрические, в форме потенциальной или кинетической энергии.

Аккумуляция энергии - не новая концепция в энергетике. Ископаемые топлива в этом смысле являются эффективным аккумулятором с высокой плотностью энергии. Однако по мере того, как источники топлива становятся все менее доступными и все более дорогими, появляется необходимость в развитии других методов аккумуляции, и в качестве одного из них - производства возобновляемого топлива.

## **5.2. Химическое аккумуляция.**

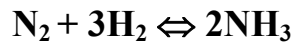
Энергия может удерживаться в связях многих химических элементов и выделяется в процессе экзотермических реакций, из которых наиболее известно горение. Иногда необходимо применить для запуска такой реакции предварительное нагревание или катализаторы (например, ферменты). Биологические компоненты представляют особый случай. Здесь речь идет лишь о неорганических соединениях, являющихся наиболее распространенными аккумуляторами, энергия которых выделяется при сгорании в воздухе.

**Водород.** Может быть получен путем электролиза воды с помощью любого источника тока. В виде газа он может быть накоплен, передан на расстояние и сожжен для получения тепловой энергии. Единственным продуктом сгорания водорода является вода: не образуется никаких загрязняющих веществ. Энтальпия образования водорода  $H = -242$  кДж/моль, т.е. при образовании 1 моля  $H_2O$  (18 г) выделяется 242 Дж тепловой энергии. Хранить водород в больших количествах непросто. Наиболее обещающий способ - использование подземных каверн, подобных тем, из которых добывается природный газ. Но хранение газа - даже под высоким давлением - требует значительных объемов. Необходимо заметить, что водород можно передавать через разветвленную сеть трубопроводов, используемых сейчас для подачи природного газа во многих странах мира. Кроме того, существует возможность с большой эффективностью использовать его для



непосредственного получения электроэнергии с помощью топливных элементов.

**Аммиак.** В отличие от воды аммиак может быть разложен на составляющие элементы при доступных температурах:



В сочетании с принципом теплового двигателя эта реакция может стать основой наиболее эффективного способа непрерывного получения электроэнергии за счет использования солнечного тепла.

### 5.3. Аккумуляирование тепловой энергии.

Использование низкотемпературного тепла составляет существенную часть мирового потребления энергии. Существенно не обязательно использовать для обогрева высокотемпературные источники энергии, которые гораздо лучше сберечь для других целей. Для обогрева жилищ больше подходят пассивные приемники солнечного тепла в сочетании с тепловыми аккумуляторами, поддерживающими комфортные условия по ночам и в пасмурные дни. Более того, именно в тех случаях, когда энергия используется при низких температурах,

характерных для среды, ее особенно ценно накапливать в форме

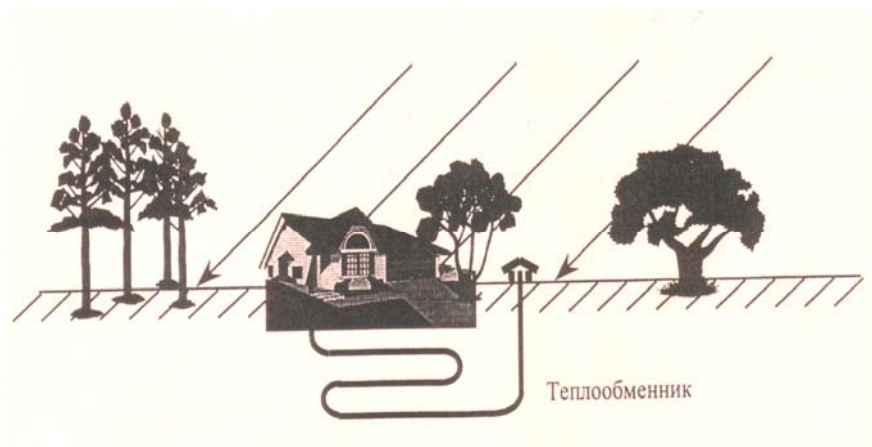


Рис. 5.1 Грунтовый аккумулятор тепла

тепла. Тепловое аккумуляирование плодотворно и при использовании "отходов" тепла, возникающих в процессе работы различных установок. Запаситься на три месяца теплом для обогрева жилого дома - вполне решаемая задача. Правда при этом важно не только сделать хороший проект, но и грамотно его реализовать.

В частности, необходимо качественно выполнить теплоизоляцию и предохранить дом от сырости, снабдить его управляемой системой вентиляции (возможно, с рециркуляцией тепла), использовать все "отходы" тепла от освещения, приготовления пищи, жизнедеятельности самих обитателей. Существуют примеры подобных высокотехнологичных домов, обладающих кроме всего прочего прекрасной архитектурой и создающих идеальные условия для жизни. Отметим, что в качестве аккумулирующей тепло среды предпочтительнее использовать вместо воды скальные породы.

На рис.5.1. показан пример использования аккумулятора тепла в виде грунтового теплообменника.

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

Известно, что использование аккумулирования тепла в широком масштабе высокоширотными морскими странами позволило бы решить проблемы снабжения теплом за счет развития ветро- и волноэнергетики. Оба эти источника наиболее производительны зимой, а их мощность, хотя и изменяется периодически час от часу, редко существенно падает более чем на несколько дней. Значительно большей теплоемкостью в ограниченном интервале температур по сравнению с системами использующие поглощение тепла, обладают материалы, при изменении температуры изменяющие фазовое состояние. Например, глауберову соль ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) можно использовать для аккумулирования тепла уже при комнатной температуре. При  $32^\circ\text{C}$  она разлагается на насыщенный раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  с выпадением части  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в осадок. Эта реакция обратима и дает  $250 \text{ кДж/кг} \approx 650 \text{ МДж/м}^3$  тепловой энергии. Так как большая часть стоимости аккумуляторов для обогрева зданий связана со стоимостью конструкций, такие аккумуляторы могут оказаться дешевле, чем водяные емкости с более низкой удельной плотностью запасаения

энергии. К сожалению, еще не разрешены некоторые трудности при создании подобных аккумуляторов.

#### **5.4. Аккумуляция электрической энергии.**

Электричество - наиболее совершенная форма энергии, и поэтому в направлении поисков дешевых и эффективных методов его аккумуляции делаются огромные усилия.

Устройство допускающее как поглощение, так и выдачу электроэнергии, называют электрической аккумуляторной батареей или **электрическим аккумулятором**.

Электрические аккумуляторы являются существенной частью почти всех фотоэлектрических и небольших ветроэнергетических установок, ведутся работы по созданию эффективных аккумуляторов для транспортных средств.

**Свинцово-кислотный аккумулятор.** Хотя многие электрохимические реакции обратимы, только некоторые из них на практике подходят для создания аккумуляторов, которые бы допускали бы сотни циклов при зарядно-разрядных токах от 1 до 100 А. Наиболее известен и широко используется свинцово-кислотный аккумулятор, изобретенный Планте в 1860 г.

Такой аккумулятор набирается из отдельных элементов. Как и в любом электрохимическом элементе, здесь имеются две пластины-электроды, помещенные в проводящий раствор-электролит. В случае свинцово-кислотного аккумулятора электроды формируют в виде сеток, ячейки которых заполнены пастами из свинца и диоксида свинца. В качестве электролита используется серная кислота.

На практике нельзя допускать разряда аккумулятора более чем на 50% от запасенной энергии, в противном случае он будет разрушаться. Такие разряды называют "глубокими разрядами".

**Топливные элементы.** Топливный элемент преобразует химическую энергию топлива непосредственно в электрическую, минуя промежуточную стадию сжигания. Так как преобразование тепло-работа здесь отсутствует, эффективность топливных элементов не подпадает под ограничение второго закона термодинамики, как это происходит в обычных системах топливо - тепло- работа - электроэнергия. Теоретически КПД преобразования химической энергии в электрическую может достигать 100%.

Аналогично аккумулятору топливный элемент имеет два электрода, разделенных электролитом, переносящим ионы, а не электроны. Водород (или другой преобразуемый компонент) подводится к отрицательному электроду, а кислород (или воздух) - к положительному. В результате катализа на пористом аноде молекулы водорода разлагаются на водородные ионы и электроны. Ионы  $H^+$  мигрируют через электролит (обычно кислота) к катоду, где соединяются с электронами, поступающими через внешнюю цепь, и с кислородом, образуя воду.

Эффективность реального топливного элемента значительно ниже теоретических 100% во многом по тем же причинам, что и у электрического аккумулятора. Однако эта величина - вероятное значение для преобразования химической энергии в электрическую (40%) - не зависит от того, работает топливный элемент на полную мощность или нет (в отличие от дизельных двигателей, газовых турбин и т.д.)

Крупномасштабные топливные элементы не дают существенной экономии. Это связано с тем, что соединенные в батареи отдельные топливные элементы имеют примерно такой же КПД. В связи с этим считается предпочтительным создание сравнительно небольших станций местного значения мощностью до 100 кВт. Интересно, что отдельное здание можно было бы с помощью топливных элементов обеспечивать и электроэнергией, и теплом (оно выделяется при работе топливных элементов) при том же расходе топлива, которое в обычных условиях тратится только на обогрев.

Основной причиной, по которой топливные элементы не находят пока широкого применения, является их высокая установочная стоимость (более 2000 долл./кВт).

### **Аккумуляирование электроэнергии в виде потенциальной или кинетической энергии различных тел.**

#### **Вода:**

- Гидроэнергетические системы приводятся в действие природными потоками. Работающие в двух режимах гидроаккумулирующие станции (ГАЭС рис.3.6) используют два резервуара - верхний и нижний. Когда в энергосистеме имеется избыток мощности, вода закачивается в верхний бассейн, обеспечивая генерирование электроэнергии. На практике в ГАЭС используют агрегаты, работающие в двух режимах: как насосы, и как турбины. Уже построено несколько достаточно крупных станций этого типа для выравнивания колебаний потребностей энергетики. Это обеспечивает работу традиционных АЭС и ТЭС с постоянной нагрузкой в наиболее эффективном режиме. В связи с тем, что около 15% подводимой энергии в ГАЭС идет на обеспечение быстрого переключения агрегатов с одного режима на другой, а еще около 15% тратится на трение и перераспределение потоков, наилучшие экономические показатели такие станции давали бы при автоматическом управлении нагрузкой.

#### **Маховики:**

- Кинетическая энергия вращающегося тела:

$$E = J\omega^2/2$$

где  $J$  - момент инерции тела относительно его оси вращения,

$\omega$  - угловая скорость, рад/с.

Для того чтобы использовать маховик в качестве аккумулятора энергии (а не просто выравнивающего ход устройства), ему необходимо сообщить по возможности большую скорость. Однако угловая скорость ограничивается напряжениями,рывающими маховик при вращении под действием центробежных сил. Плотность энергии вращающегося маховика зависит от

материала маховика и от его формы. Маховики позволяют получить плотность энергии до 0.5 МДж/кг (лучше чем у свинцово-кислотного аккумулятора) или даже выше. Для использования с целью выравнивания потребления энергии в крупных энергосетях маховики могут быть установлены где угодно, так как занимают сравнительно мало места. Блок с маховиком массой 100 т имел бы аккумулирующую способность примерно 10 МВт·ч. при еще больших потребностях достаточно создать каскад из нескольких подобных "мини"-блоков. Маховики, кроме того, представляют интересную альтернативу традиционным аккумуляторным батареям для питаемых электроэнергией транспортных средств, особенно в связи с тем, что их подзарядка требует значительно меньше времени.

#### **Сжатый воздух:**

Воздух может быть быстро сжат и медленно расширен. За счет этого легко выравнивать большие флуктуации давления в гидравлических системах. Допустимая плотность энергии с использованием сжатого воздуха умеренно высока. Главной трудностью при таком способе аккумулирования энергии оказывается снижение потерь в процессе сжатия от нагревания.

## **ТЕМА 6. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

### **6.1. Основные методы и прибора регулирования, контроля и учета тепловой и электрической энергии.**

Теплотехнические измерения служат для определения многих физических величин, связанных с процессами выработки и потребления тепловой энергии. Они включают определение как чисто тепловых величин (температуры, теплоты сгорания, теплопроводности и пр.), так и некоторых других (давления, расхода и количества, уровня, состава газов и пр.), играющих важную роль в энергетике. Измерения физических величин делятся на промышленные (технические) и лабораторные. Промышленные измерения имеют сравнительно невысокую точность, достаточную для практических целей, и производятся приборами, устройство которых отвечает их назначению и условиям работы. Лабораторные измерения отличаются высокой точностью благодаря применению более совершенных методов и приборов и учету возможных погрешностей. Этот вид измерений производится при выполнении научно-исследовательских работ, наладочных и проверочных работ. Для определения значений измеряемой величины служат прямые и косвенные измерения. Прямые измерения, характеризуемые равенством (1-1), заключаются в непосредственном сравнении измеряемой величины с единицей измерения при помощи меры или измерительного прибора со шкалой, выраженной в этих единицах. Так, например к прямым относятся измерения длины – метром, давления – манометром, температуры – термометром и т.д. Благодаря наглядности и простоте прямые измерения получили в технике большое распространение. Косвенные измерения предусматривают определение искомой величины  $Q$  не непосредственно, а путем прямого измерения одной или нескольких других величин:  $A, B, C, \dots$ , с которыми она

связана функциональной зависимостью. При этом вычисление измеряемой величины производится по формуле:

$$Q=f(A,B,C \dots)$$

Примерами косвенного измерения, применяемого в тех случаях, когда невозможно произвести прямое измерение или последнее является менее точным по сравнению с косвенным, служат: определение расхода вещества по перепаду давления в сужающем устройстве, количества воды в баке по уровню в указательном стекле и пр.

**Методом измерений** называется совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Существует ряд методов измерений, из которых наиболее распространенными являются: метод непосредственной оценки, метод сравнения с мерой и нулевой метод.

**Метод непосредственной оценки** предусматривает определение искомой величины по отсчетному устройству измерительного прибора, например по положению указательной стрелки манометра относительно его шкалы.

**Метод сравнения с мерой** состоит в том, что измеряемая величина сравнивается со значением, воспроизводимым мерой для данной величины, например, при измерении длины калибровочным методом.

**Нулевой метод** является разновидностью метода сравнения с мерой. Здесь результирующее воздействие двух величин (измеряемой и воспроизводимой мерой), направленных навстречу друг другу, доводится до нуля. Примером может служить измерение массы вещества на рычажных весах с уравновешиванием ее калиброванными грузами.

### **Классификация измерительных приборов.**

Основная классификация предусматривает деление приборов по роду измеряемых величин. Условно приняты следующие наименования наиболее распространенных приборов, предназначенных для измерения:



- температуры – термометры и пирометры;
- давления – манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягометры, напорометры и барометры;
- расхода и количества – расходомеры, счетчики и весы;
- уровня жидкости и сыпучих тел – уровнемеры и указатели уровня;
- состава дымовых газов – газоанализаторы;
- качества воды и пара -- кондуктометры и кислородомеры

Дополнительная классификация подразделяет указанные приборы на следующие группы:

- по назначению – промышленные (технические), лабораторные, образцовые и эталонные;
- по характеру показаний – показывающие, регистрирующие (самопишущие и печатающие) и интегрирующие;
- по форме представления показаний – аналоговые и цифровые;
- по принципу действия – механические, электрические, жидкостные, химические, радиоизотопные и др.;
- по характеру использования – оперативные, учетные и расчетные;
- по местоположению – местные и с дистанционной передачей показаний;
- по условиям работы – стационарные (щитовые) и переносные;
- по габаритам – полногабаритные, малогабаритные и миниатюрные.

Почти каждый измерительный прибор может быть отнесен к любой из указанных выше групп.

Приборы, измеряющие расход, называются расходомерами. В зависимости от рода измеряемого вещества они делятся на расходомеры воды, пара, газа и др. Расходомеры бывают показывающими и самопишущими. Часто они снабжаются встроенным счетным механизмом (интегратором). Для определения расхода и количества жидкости, газа, пара и сыпучих тел чаще всего применяются следующие основные методы измерений: переменного

перепада давления, скоростной, объемный и весовой. В отдельных случаях используются и другие методы измерений. Метод переменного перепада давления, имеющий большое практическое значение, основан на изменении статического давления среды, проходящей через искусственно суженое сечение трубопровода; скоростной – на определение средней скорости движения потока; объемный и весовой – на определении объема и массы вещества.

Достоинствами первых двух методов измерений является сравнительная простота и компактность измерительных приборов, а последних двух – более высокая точность измерений.

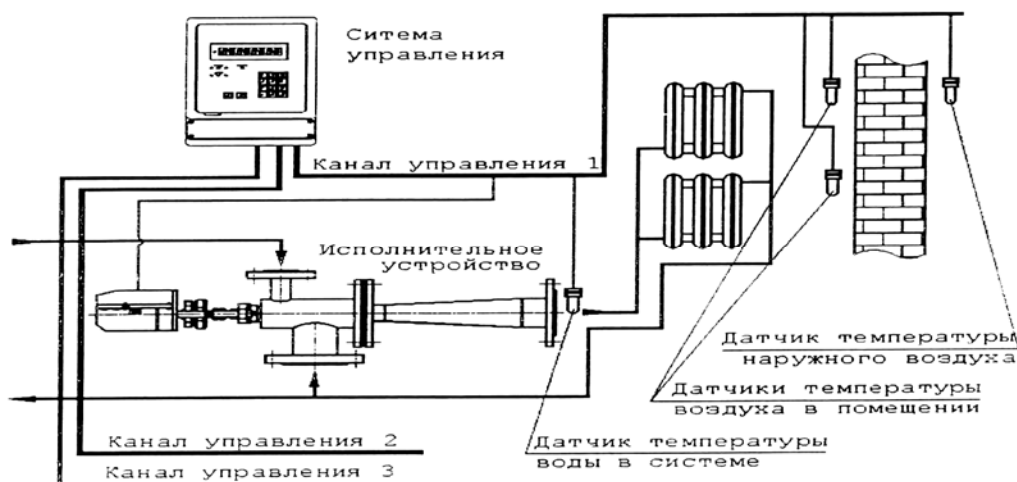
Приборы для измерения температуры разделяются в зависимости от используемых ими физических свойств веществ на следующие группы с диапазоном показаний:

- термометры расширения ( $+190 \dots 650^{\circ} \text{C}$ ) основаны на свойстве тел изменять под действием температуры свой объем;
- манометрические термометры ( $+160 \dots 650^{\circ} \text{C}$ ) работают по принципу изменения давления жидкости, газа или пара с жидкостью в замкнутом объеме при нагревании или охлаждении этих веществ;
- термометры сопротивления ( $+200 \dots 650^{\circ} \text{C}$ ) основаны на свойстве металлических проводников, изменять в зависимости от нагрева их электрическое сопротивление;
- термоэлектрические термометры ( $+50 \dots 1800^{\circ} \text{C}$ ) построены на свойстве разнородных металлов и сплавов, образовывать в паре (спае) термоэлектродвижущую силу, зависящую от температуры спаея;
- пирометры ( $+300 \dots 6000^{\circ} \text{C}$ ) работают по принципу измерения излучаемой нагретыми телами энергии, зависящей от температуры этих тел.

Главными узлами измерительных приборов являются измерительные и отсчетные устройства. Первое из них непосредственно осуществляет измерение

физической величины при помощи чувствительного элемента и при необходимости усиливает входной сигнал, а второе – показывает, записывает или интегрирует полученные значения.

Использование счетчиков приносит немалую финансовую выгоду потребителю тепловой и электрической энергии, однако реальная экономия достигается совместным применением счетчика и автоматического регулирующего оборудования, признанного поддерживать теплоснабжение и теплопотребление на том уровне, который требуется в данный конкретный момент, и снижать его при необходимости до минимально безопасного уровня. Электронные регуляторы позволяют задавать временной график теплоснабжения, поддерживать по графику температуру воды на подаче в



*Рис.6.1 Схема включения электронного регулятора системы теплоснабжения в систему отопления.*

зависимости от наружной, ограничивать температуру обратной воды. Пример применения электронного регулятора приведен на рис.6.1. Примером прибора измеряющего количество теплоносителя является теплосчетчик «Струмень-ТС400». Измерение расхода теплоносителя в данном приборе основано на электромагнитном принципе, который обеспечивает высокую точность, а отсутствие механических устройств гарантирует долгий срок службы приборов.

## **6.2. Автоматизация процесса регулирования, учета и контроля потребления энергоресурсов.**

Решение проблем энергоучета на предприятиях требует создания автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ).

В настоящее время такие системы строят по трех уровневому принципу (рис.6.2). **Нижний уровень** – первичные измерительные преобразователи (ПИП) с телеметрическими выходами, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергоучета потребителей (расход, мощность, давление, температуру, количество энергоносителя, количество теплоты с энергоносителем) по точкам учета. **Средний уровень** – контроллеры (К), специализированные измерительные системы, или многофункциональные программируемые преобразователи, со встроенным программным обеспечением энергоучета, осуществляющие в заданном цикле интервала усреднения круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхний уровень. Верхний уровень – персональная ЭВМ (ПЭВМ) со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющая сбор информации с контроллера (или группы контроллеров) среднего уровня, итоговую обработку этой информации как по точкам учета, так и по их группам – по подразделениям и объектам предприятия, отображение и документирование данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений (управления) оперативным персоналом службы главного энергетика и руководством предприятия.

Нижний уровень АСКУЭ связан со средним уровнем измерительными каналами, в которые входят все измерительные средства и линии связи от точки учета до контроллера. В свою очередь средний уровень АСКУЭ связан с верхним уровнем каналом связи, в качестве которого могут использоваться

физические проводные линии связи, выделенные или коммутируемые телефонные каналы, радиоканалы.



Рис.6.2. Обобщенная трехуровневая схема АСКУЭ

По назначению АСКУЭ предприятия подразделяют на системы коммерческого и технического учета. Коммерческим, или расчетным, называют учет выработанной и отпущенной потребителю (предприятию) энергии для денежного расчета за нее. Техническим, или контрольным, называют учет процесса энергопотребления внутри предприятия по его подразделениям и объектам. Системы АСКУЭ коммерческого и технического учета могут быть реализованы как отдельные системы или как единая (смешанная) система (рис.6.3).

По принципу реализации и доступа к информации АСКУЭ коммерческого и технического учета можно разделить на централизованные и децентрализованные. В централизованной системе сбор данных с ПИП осуществляется непосредственно на многоканальный контроллер, а с него на ПЭВМ. Альтернативой централизованной системе является децентрализованная АСКУЭ. Такая система строится на базе недорогих малоканальных контроллеров учета, которые устанавливаются непосредственно на контролируемых объектах и через среду связи

подключаются к удаленной ПЭВМ главного энергетика предприятия. Такая АСКУЭ обеспечивает в реальном масштабе времени доступ к информации энергоучета всем заинтересованным лицам: как руководству предприятия, так и руководителям подразделений.

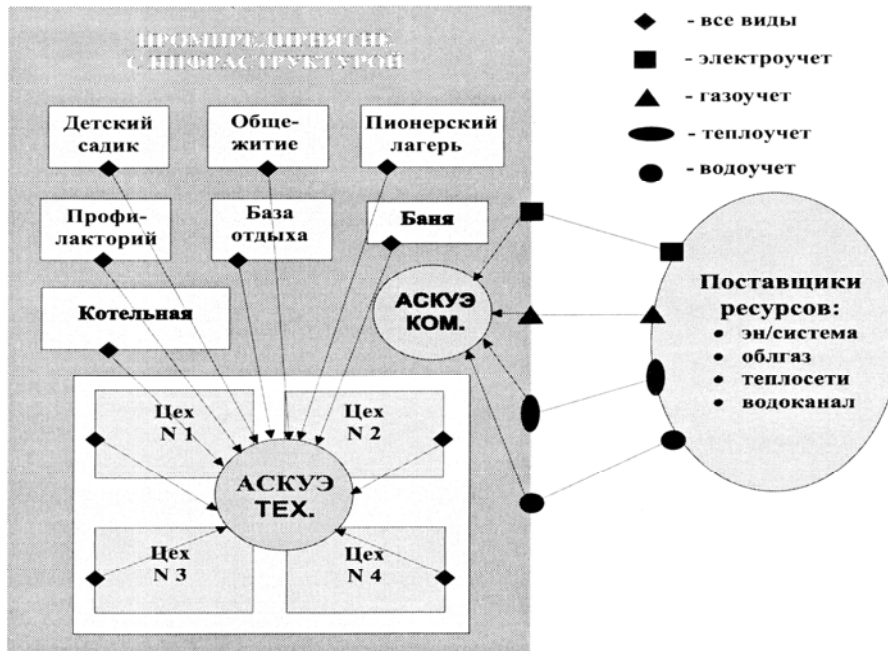


Рис.6.3 АСКУЭ коммерческого и технического учета промпредприятия

# **ТЕМА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

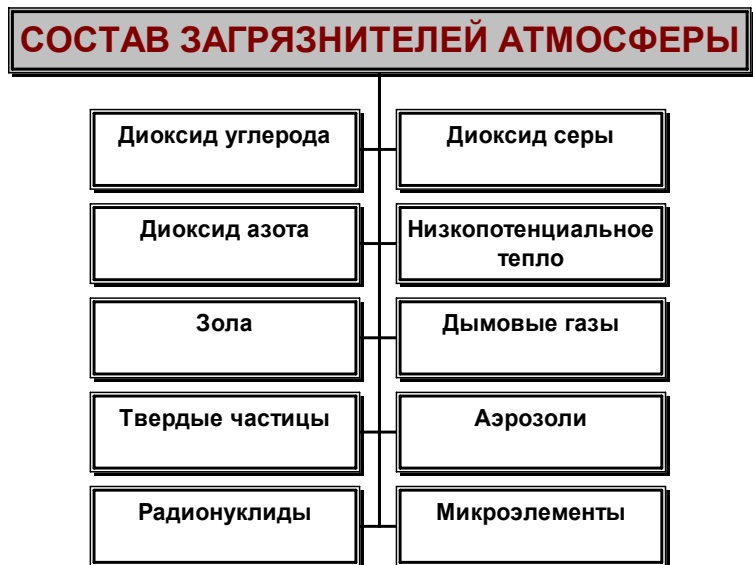
## **7.1. Классификация и основные характеристики атмосферных выбросов при сжигании топлива.**

Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды - одна из важнейших насущных проблем современного общества. Под **окружающей средой** понимается система взаимосвязанных природных и антропогенных объектов и явлений, с которой связаны труд, быт и отдых людей. В настоящее время каждый регион земной поверхности имеет особенности не только естественные, но и созданные руками человека. Масштабы воздействия хозяйственной деятельности человека на природную среду стали поистине гигантскими. К настоящему времени на планете вырублено примерно 2/3 площади первобытных лесов, значительная часть земли занята сельскохозяйственными угодьями, городскими и сельскими поселениями, индустриальными центрами, транспортными средствами. Значительно изменяются ландшафт, направление течения рек и т.р. Поступление в воды суши и океана, в атмосферу и почву различных химических соединений (около 100 тыс.), образующихся в результате деятельности человека, в десятки раз превосходит естественное поступление веществ при выветривании горных пород и извержении вулканов. Ежегодно из земных недр извлекается свыше 100 млрд. т полезных ископаемых, выплавляется 800 млн. т различных металлов, производится более 60 млн. т синтетических материалов, вносится в почвы свыше 500 млн. т минеральных удобрений, примерно 3 млн. т различных ядохимикатов. В водоемы ежегодно сбрасывается более 500 млрд. м<sup>3</sup> промышленных и коммунальных стоков, для нейтрализации которых требуется 5...12-кратное разбавление природной чистой водой.

Под воздействием антропогенного фактора снос суши составляет примерно ежегодно 50.6 млрд. т. В результате сжигания топлива в атмосферу ежегодно поступает более 20 млрд. т диоксида углерода и более 700 млн. т других паргазообразных соединений и твердых частиц. Техногенное поступление серы в 7 раз превышает ее естественное поступление в результате природных процессов. Увеличивается содержание в воздухе, воде, почве соединений кадмия, ртути, свинца и других вредных веществ. Происходят также процессы рассеивания вредных веществ в процессе использования готовой продукции из-за коррозии, износа, испарения.

**Усиление техногенного воздействия на окружающую среду обусловило ряд экологических проблем, среди которых наиболее важные связаны с состоянием атмосферного воздуха, водных и земельных ресурсов.** В большей степени это касается и атмосферы, химический состав которой

в основном определяется четырьмя компонентами – азотом, кислородом, аргоном и углекислым газом. Кроме постоянных составных частей, в атмосферу поступают временные примеси хозяйственной деятельности человека. Их повышенное содержание оказывает негативное влияние на



*Рис.7.1 Классификация основных загрязнителей атмосферы*

развитие живых организмов и растительности. Основные виды загрязнителей атмосферы и окружающей среды приведены на рис.7.1. В то же время, как показывает практика, большинство этих загрязнителей при их вторичном использовании становятся полезными энергетическими источниками.



Рациональное использование ВЭР теплоэнергетических установок позволяет снизить их вредное (токсичное) воздействие на окружающую среду. За основу оценки токсичности ВЭР принят метод доведения многокомпонентной смеси токсичных веществ до безвредных для человека и животных концентраций путем уменьшения возможности их образования или нейтрализации. В нашей республике утверждены **нормы предельно допустимых концентраций (ПДК)** вредных веществ в атмосферном воздухе, измеряемых на уровне дыхания человека. Поддержание ПДК на допустимом уровне обеспечивается двумя методами:

- пассивные методы;
- активные методы.

**Пассивный метод** заключается в строительстве высоких дымовых труб с целью рассеять вредные вещества по возможности над большей территорией, уменьшив тем самым среднюю концентрацию выбрасываемых веществ. Этот метод является в настоящее время наиболее распространенным для поддержания концентрации сернистых газов и оксидов газов и оксидов азота в атмосфере на уровне, обеспечивающем ПДК. Высота труб современных крупных электрических станций уже превысила 300 м; это сложные, дорогие инженерные сооружения.

**Активный метод** заключается в уменьшении количества вредных выбросов путем использования дополнительных конструктивных решений в виде различного рода очистных сооружений и модификации технологических процессов.

## **7.2. Взаимосвязь экологии и энергосбережения.**

Возрастающие темпы роста промышленного производства вызывают непрерывный рост абсолютного количества выбросов различных веществ в окружающую среду (объем мирового промышленного производства

удваивается каждые 12...14 лет, что сопровождается примерно таким же ростом объема вредных выбросов).

Поскольку использование вторичных энергетических ресурсов и отходов производства позволяет не только экономить материально-энергетические ресурсы, но и существенно уменьшать вредное воздействие теплоэнергетических установок на окружающую среду, проанализируем источники этих загрязнений.



Рис.7.2. Классификация основных источников загрязнения атмосферы

В биосферу поступает определенное количество примесей от естественных и антропогенных источников загрязнений (рис.7.2). К числу веществ, выделяемых естественными источниками, относятся: пыль растительного, вулканического и космического происхождения; пыль, образу-

ющаяся при эродировании почвы; частицы морской соли; туман; газы, образующиеся в результате лесных пожаров и извержений вулканов; различные продукты растительного, животного и микробиологического происхождения и др.

Обычно естественные источники загрязнений либо равномерно распределены в биосфере (например, космическая пыль), либо имеют локальный кратковременный характер (например, лесные и степные пожары, извержение вулканов и т.п.). Уровень загрязнений окружающей среды этими источниками фоновый и мало изменяется с течением времени.

Основное загрязнение окружающей среды создается в результате хозяйственной деятельности человека, т.е. искусственное происхождение. Наибольшее количество выбросов обусловлено отходами теплоэнергетики и различных отраслей промышленности и транспорта. В странах СНГ относительные доли их выбросов в окружающую среду составляют:

- ◆ теплоэнергетикой -- 27%
- ◆ черной металлургией -- 24.3%
- ◆ цветной металлургией -- 10.5%
- ◆ нефтедобывающей и нефтехимической отраслями -- 15.5%
- ◆ автотранспортом -- 13.3%
- ◆ предприятиями стройматериалов -- 8.1%
- ◆ химической промышленностью -- 1.3%.

Больше всего загрязнителей образуется в процессе сгорания различных видов топлива, используемого на транспорте, в промышленности, при производстве теплоты и электроэнергии. Интенсивное сжигание топлива в теплотехнических установках разрушающе воздействуют на окружающую среду. Поэтому ее защита стала в настоящее время глобальной проблемой человечества.

В табл.7.1 приведены данные о количестве вредных выбросов, приходящихся на 1 т сжигаемого в различных теплоэнергетических установках топлива, а в табл.7.2 сравнительные данные по вредности различных видов органического топлива.

Выбросы источников сгорания топлива, кг/т топлива

Таблица 7.1

Выбросы	Внутреннее сгорание		Внешнее сгорание			
	карбюраторные ДВС	дизельные ДВС	нефтяное топливо		Уголь	
			Произв. эл. энер.	Коммер. бытовое исп.	Произв. эл. энергии	Коммер. быт. использ.
Оксиды:						
углерода	395	9	0.005	0.025	0.25	25
азота	20	33	14	10	10	4
серы	1.55	6	20.8 S*	20.8 S*	19 S*	19 S*
Углеводороды	34	20	0.42	0.26	0.1	5
Альдегиды, органические кислоты	1.4	6.1	0.08	0.25	0.0025	0.0025
Твердые частицы	2	16	1.3	1-12	8 А*	2-8 А*
* Количество оксидов серы и твердых частиц определяется как произведение указанной в таблице цифры на процент содержания серы в топливе S и минеральных примесей А.						

Сравнительные данные вредности различных видов органического топлива, в относительных единицах (о.е.)

Таблица 7.2

ТОПЛИВО	Относительные слагаемые вредности, о.е.				Суммарная вредность, о.е.
	Зола	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Природный газ	-	-	4.07	-	4.07
Мазут(S <sub>p</sub> =3.5%)	-	5.34	6.41	13.36	25.11
Горючие сланцы	2.59	8.57	8.16	-	19.32
Донецкий уголь (антрацитовый штыб)	0.46	3.17	6.90	-	11.07
Назаровский бурый уголь	0.33	3.87	7.56	-	11.76

Рассмотрим влияние на окружающую среду различных источников загрязнения атмосферы.

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА.** В промышленно развитых странах основным источником загрязнения являются тепловые электрические станции, в их котельных сжигаются уголь, нефть и продукты ее переработки, газ. Дымовые трубы электростанции ежегодно выбрасывают в атмосферу Земли более 250 млн. т золы, до 60 млн. т сернистого газа. При сжигании одной тонны угля поглощается такое количество кислорода, сколько его необходимо для 3.5 тыс. человек. Как же взаимодействует современная ТЭС с окружающей средой? Количественные показатели основных взаимосвязей применительно к ТЭС мощностью 1000 МВт приведены в табл.7.3.

Годовые расходы топлива и выбросы ТЭС на органическом топливе мощностью 1000 МВт, млн. кг.

Таблица 7.3

ВЫБРОС	Вид топлива и его годовой расход		
	ГАЗ $1.9 \cdot 10^9$ м <sup>3</sup> /год	МАЗУТ ( $S^p=1.6\%$ се- росодержание) $1.57 \cdot 10^6$ т/год	УГОЛЬ ( $S^p=3.5\%$ серосо- держание, $A=9\%$ зольность, степень очистки газов 98%) $2.3 \cdot 10^6$ т/год)
SO <sub>2</sub>	0.012	52.66	139.0
NO <sub>x</sub>	12.08	21.70	20.88
Твердые частицы	0.46	0.73	4.49

Пользуясь данными табл.7.3, можно определить, что Лукомльская ГРЭС (мощность 2400 МВт) при работе на мазуте может выбросить в атмосферу за год 126 тыс. т оксидов серы и 52 тыс. т оксидов азота. В настоящее время электростанции Республики Беларусь работают на мазуте и природном газе, поэтому основная доля газообразных токсичных выбросов приходится на SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>.

Энергетика является мощным источником ежегодного поступления в атмосферу 140-160 млн. т  $\text{SO}_2$ . Это следствие сжигания в основном угля и нефти. Поступление двуокиси серы из природных источников эквивалентно 600 млн.т. Следовательно, человек ответственен за четвертую часть серы, проникающей в биосферу.

Ежегодно в мире в результате сжигания органических топлив в атмосферу выбрасывается до 100 млн. т золы и около 150 млн. т сернистого ангидрида. Из топки одного только парового котла производительностью 950 т/ч при сжигании антрацитового штыба в атмосферу поступает до 60 т оксидов азота в сутки. При взаимодействии с атмосферной влагой эти оксиды образуют кислоты, выпадающие в районе высокой концентрации промышленных предприятий даже в виде "кислотных дождей".

Кроме перечисленных загрязнителей, характерных для тепловых электростанций, отмечено также большое количество тепловых сбросов, главным образом в прилегающие водные бассейны. Установлено, что на площади 3...4 км<sup>2</sup>, занятой электростанцией, изменяется рельеф местности, нарушаются характеристики поверхностного стока, структура почвенного слоя и экологическое равновесие. Относительно экологического воздействия атомных электростанций (АЭС) на окружающую среду существуют различные мнения. Однако не вызывает сомнения тот факт, что в отличие от традиционных теплоэнергетических установок работа АЭС практически не влияет на содержание кислорода и углекислого газа в атмосфере, не изменяет химического состава атмосферы, гидросферы и почвы. Основными факторами взаимодействия АЭС с окружающей средой являются радиационное воздействие и тепловое загрязнение. Максимально допустимы выбросы с воздушными потоками АЭС представлены в табл.7.4.

Максимально допустимые выбросы АЭС при высоте  
вентиляционной трубы 100 м.

Таблица 7.4

ВИД ВЫБРОСА	Активность выброса, Бк/сут
Стронций-90 и стронций-89	$3.7 \cdot 10^7$
Йод-131	$3.7 \cdot 10^9$
$\alpha$ и $\beta$ -активные аэрозоли, кроме изотопов стронция и йода	$1.85 \cdot 10^{10}$
Радиоактивные инертные газы (изотопы криптона и аргона)	$1.33 \cdot 10^{14}$

**ПРОМЫШЛЕННОСТЬ.** В теплоэнергетических установках (двигателях внутреннего сгорания (ДВС), газотурбинных двигателях, паро- и теплогенераторах, печах различного назначения) используются органические виды топлива: нефть и продукты ее переработки, уголь, торф, природный газ, древесина. Основные химические элементы каждого из перечисленных видов топлива - это углерод, водород, кислород, азот, сера, а также соединения металлов (сульфиды и оксиды) и минеральные примеси. Количество этих веществ в топливе зависит как от его типа, так и от места добычи. Содержание серы может изменяться от долей процента до 6...7%. Необходимо также учитывать и то, что многие производства, прежде всего ТЭС, ТЭЦ, металлургические заводы, засоряют окружающую среду микроэлементами. Так, в 1 т угольной золы в среднем содержится 200 г свинца, 400 г урана, по 500 г германия и мышьяка, 700 г никеля и т.д. Максимальное содержание стронция, ванадия, цинка и германия может достигать 10 кг на 1 т шлака. Такие концентрации перечисленных элементов делают экономически выгодным извлечение некоторых металлов из золы. Зола нефти также содержит ванадий, ртуть, молибден, никель и др.; торфяная зола нередко обогащена ураном,

кобальтом, медью, никелем, цинком, свинцом. При ежегодном сжигании 2.4 млрд. т каменного и 0.9 млрд. т бурого угля в теплосиловых установках вместе с золой рассеивается 280 тыс. т мышьяка и 224 тыс. т урана, тогда как мировое производство этих двух металлов составляет соответственно 40 и 30 тыс. т в год.

Если учесть, что в мире уже сожжено более 160 млрд. т угля и около 70 млрд. т нефти, то очевидно, в окружающей человека среде рассеяны многие миллионы тон различных микроэлементов. В результате сгорания органического топлива образуется ряд вредных веществ. Это прежде всего оксиды серы  $SO_2$  и  $SO_3$  и золы. Зола некоторых топлив помимо механического воздействия на органы дыхания оказывает также токсическое влияние на организм. Так, в золе донецких антрацитов содержится мышьяк, зола ряда твердых топлив содержит фтористые соединения.

При сжигании мазутов выделяются соединения ванадия. Весьма токсичными компонентами дымовых газов, которым в последнее время уделяется большое внимание, являются оксиды азота, образующиеся из азотистых соединений топлива, а также - при высокой температуре в зоне горения - в результате окисления азота воздуха. Очень важно, что некоторые из составляющих дымового газа, например оксида серы и азота, усиливают вредное воздействие друг друга на организм. При сжигании природного газа выбросы оксидов азота являются, пожалуй, единственными, но существенными загрязнителями атмосферы.

**ТРАНСПОРТ.** В промышленно развитых странах серьезным источником загрязнения атмосферы являются продукты сгорания транспортных двигателей., что подтверждается данными приведенными в табл. 7.5



## Состав и годовой выброс продуктов сгорания

Таблица 7.5

ПРИМЕСИ	ГОДОВОЙ ВЫБРОС, млн т	
	автомобили	электростанции, заводы и др.
Оксид углерода	59.7	5.2
Углеводороды и др. органические вещества	10.9	6.4
Оксиды азота	5.5	6.5
Серосодержащие соединения	1	22.4
Микрочастицы	1	9.8

Таким образом автомобильный транспорт является источником выброса 92% оксида углерода, 63% углеводородов, и 46% оксидов азота. Кроме того, эти выбросы часто содержат свинец. Особенно опасна высокая концентрация источников загрязнений, в связи с чем возникает необходимость проведения мероприятий по ее снижению. Характер этих мероприятий должен определяться конкретно для каждого района или города. Кроме того, от автомобилестроителей требуется принципиально новый подход к конструкции автомобильного мотора и самого автомобиля.

Решение стоящих перед мировым автомобилестроением проблем специалисты видят прежде всего в дизелизации автомобилей и очищении топлива от серы. Отмечается, что снижение содержания серы в топливе на 0.15% приводит к уменьшению выброса диоксида серы на 50%. За счет новой конструкции форсунки дизельного двигателя удается снизить выброс несгоревших углеводородов до 1 г на 1 кВт·ч мощности. путем охлаждения надувочного воздуха можно добиться снижения на 30% выхода угарного газа. Сокращение номинальной частоты вращения двигателя при отказе от механизма опережения подачи топлива, хотя и приводит к несколько повышенному расходу топлива при больших частотах вращения коленчатого вала, вместе с тем обеспечивает снижение выброса угарного газа еще на 10%.

Для карбюраторных двигателей в качестве топлива можно использовать сжиженный, в том числе и природный, газ или даже водород. Кроме того, можно оснастить двигатель и специальными системами очистки газов при сжигании бензина.

Газообразное топливо более дешевое, сгорает полностью, сжиженный газ не содержит коррозионно-активных сернистых соединений. В результате увеличивается срок эксплуатации поршневой группы двигателя. Использование топлива в виде сжиженного газа позволит исключить загрязнение воздуха свинцовыми соединениями и продуктами неполного сгорания. Массовый переход транспорта на сжиженный газ сдерживается в настоящее время из-за недостаточного числа газонаполнительных станций.

Мысль об использовании водорода в качестве топлива для транспорта возникла давно. В настоящее время имеется возможность применять водород в качестве автомобильного топлива, изменяя системы его подачи и зажигания, без модификации автомобильного двигателя. Водород не ядовит и при сгорании дает только воду, а теплота сгорания молекулярного водорода в 3 раза больше чем бензина. Применение водорода в качестве топлива позволит получить положительный эффект. Однако трудности, возникающие при его получении, накоплении и перевозке, взрывоопасность и высокая стоимость водорода не позволяют пока применять его в широких масштабах. По прогнозам ученых, водородное топливо получит широкое распространение через 20...30 лет.

Токсичность отдельных компонентов продуктов сгорания топлива проявляется в следующем. Оксид углерода, находясь в атмосфере, постепенно, в течение 3...4 месяцев, окисляется кислородом до диоксида. В реальных условиях для растительности это безвредно, а у человека вызывает кислородное голодание.

В двигателях образуется оксид азота  $\text{NO}$ , доокисляющийся затем до в атмосфере до высших оксидов:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ . Наибольшую опасность

представляют диоксид  $\text{NO}_2$  и его полимер  $\text{N}_2\text{O}_4$ , образующийся при температуре 135...140 °С.

Вредное воздействие оксидов азота проявляется в стратосфере и тропосфере. Существующий защитный озонный слой Земли, расположенный на высоте 10...50 км, испытывает на себе разрушающее воздействие оксидов азота. Разрушение озонного слоя влечет недопустимое возрастание биологически активной радиации, что ставит под угрозу существование биосферы.

Кроме того, оксиды азота, вступая в реакцию с водой, образуют в дыхательных путях соединения азотной и азотистой кислот, раздражающих слизистую оболочку.

Следует отметить еще одну проблему, связанную с присутствием в атмосфере оксидов серы и азота. Соединяясь с атмосферной влагой, указанные оксиды образуют слабые растворы кислот и выпадают в виде “кислотных дождей”, под воздействием которых происходят закисление почв и увеличение кислотности вод поверхностных водоемов, что наносит ущерб рыбному хозяйству: в Швеции, например, 2500 озер уже полностью лишены рыбы, в Германии леса повреждены на площади свыше 2 млн. га, в Польше – на 500 тыс. га с полным уничтожением древостоя на площади в 180 тыс. га. Кислотные дожди усиливают коррозию и разрушение строительных материалов и т.д. Проблему кислотных дождей нельзя решить на национальном уровне. Так, Норвегия имеет самые низкие в Европе выбросы в атмосферу сернистого ангидрида и оксидов азота, а 92% вредных веществ в атмосферу Норвегии “импортировано” из других стран. В Швеции эта цифра составляет 82%, в Финляндии – 74%. По аналогии – авария на Чернобыльской АЭС произошла на Украине, а пострадала в основном Беларусь.

### **7.3. Характеристики основных очистных сооружений и их экономическая эффективность**

Интенсивное применение различных видов топлива для технических и бытовых целей приводит к увеличению токсичных выбросов в окружающую среду и обуславливает проблему борьбы с ними. Эта проблема в сочетании с не менее важной проблемой уменьшения расхода топлива при эксплуатационных режимах выдвигает решение следующих задач.

- 1) очистка дымовых газов от загрязняющих веществ, которые выделяются при сгорании топлива;
- 2) нейтрализации отработанных газов;
- 3) изменения конструкций и создания более эффективных теплоэнергетических установок;
- 4) разработки новых эффективных устройств и аппаратов для очистки и переработки отходов теплосиловых установок;
- 5) применения новых видов топлива (водорода, ядерного, спиртов, топливно-водяных эмульсий и других смесевых топлив);
- 6) использования возобновляемых источников энергии - солнечной, теплоты земных недр, биогаза, ветра;
- 7) утилизации материальных отходов и внедрения безотходных технологий на промышленных предприятиях;
- 8) рационального и эффективного использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР);
- 9) рационального размещения промышленных и других предприятий.

В связи с интенсивным применением различных видов теплоэнергетических установок и ростом общего промышленного производства во всех развитых странах мира растут затраты на охрану окружающей среды, которые достигают 1.5...2% национального дохода.

В настоящее время имеется ряд достаточно эффективных способов уменьшения вредного воздействия выбросов на биосферу, которые основаны на использовании органических видов топлива. К ним относится очистка и нейтрализация отработанных газов.

Распространено загрязнение атмосферы аэрозолями, состоящими из мелкодисперсных частиц золы, продуктов неполного сгорания топлива, жидкостей. Содержание примесей в плотных дымах составляет более  $3 \text{ г/м}^3$ , однако, согласно санитарным нормам многих стран, необходимо снизить их концентрацию до  $0.1 \text{ г/м}^3$  и менее.

Обычно для очистки газов от твердых примесей их пропускают через специальную камеру, где под действием гравитационных, инерционных, центробежных или электростатических сил частицы удаляются из газового потока. Очень мелкие частицы ( $0.5 \text{ мкм}$  и менее) могут удаляться из газового потока посредством термодиффузии. Несмотря на некоторые различия в разных методах улавливания частиц из газового потока, все они характеризуются общим принципом - приданием за время прохождения газа через камеру различных скоростей движения частиц относительно газового потока под действием одной из указанных выше сил.

На рис.7.3 представлена классификация основных очистительных устройств применяемых для уменьшения выброса вредных веществ в атмосферу или нейтрализации токсичности этих выбросов.

К современным аппаратам очистки газов от аэрозольных частиц можно отнести следующие:

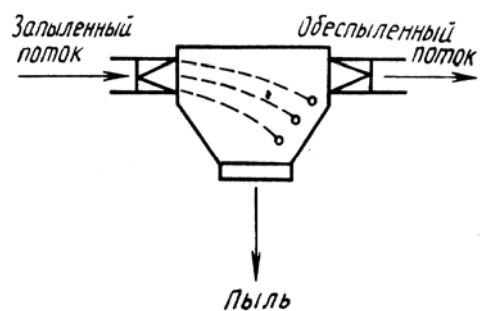
- сухие обеспыливающие устройства;
- мокрые, или гидравлические, пылеуловители;
- пористые фильтры;
- электрофильтры.



*Рис.7.3 Классификация устройств очистки газов от аэрозолей и твердых частиц*

К сухим обеспыливающим устройствам относятся осадительные камеры, инерционные пылеуловители и циклоны, в которых удаление частиц примесей из газового потока происходит механическим путем, под действием сил гравитации, инерции либо центробежных.

**Осадительные камеры** (рис.7.4) применяются для улавливания грубодисперсных частиц размерами 50...500 мкм и выше. Эффективность очистки гравитационными осадителями, простейшие из которых представляют собой расширение в газопроводе, зависит от времени пребывания газов в камере (скорости потока и расстояния, проходимого частицами в поле действия гравитационных сил).



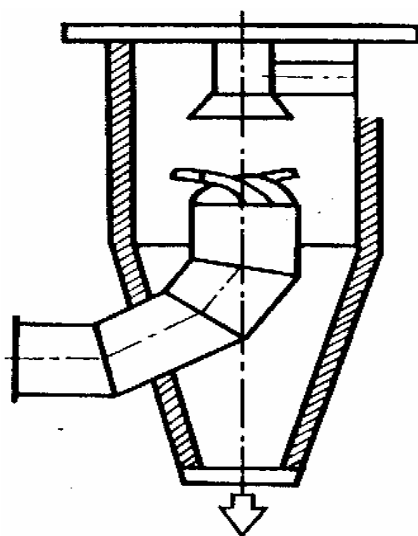
*Рис.7.4. Пылеосадительная камера*

Для повышения эффективности газоочистительных устройств простая осадительная камера может быть оснащена горизонтальными пластинами, с помощью которых уменьшается высота осаждения частиц. Такие камеры

имеют небольшое аэродинамическое сопротивление, малую стоимость, но громоздки, и их трудно очищать. Осадительные камеры обычно являются первой ступенью очистки газов от грубодисперсной пыли. Для дальнейшей очистки газ направляется в пылеулавливающие установки более высокой эффективности.

В **инерционных пылеуловителях** резко изменяется направление движения потока: частицы пыли, двигаясь по инерции и ударяясь о поверхность, выпадают в осадок, а затем через разгрузочные устройства выводятся из аппарата. Такие устройства весьма просты, но применяются только для улавливания крупных (более 50 мкм) фракций пыли. Частицы размером до 50 мкм могут задерживаться в более сложных, жалюзийных, фильтрах, к недостаткам которых следует отнести их повышенный абразивный износ и трудность очистки.

Для сухой очистки газов широко используются также **циклоны** различных типов, в которых частицы пыли перемещаются вместе с вращающимися газовыми потоками и под действием центробежных сил оседают на стенках циклонов, образуя пылевой слой, который затем удаляется в бункер. Применяются два основных типа циклонов: прямоточные и противоточные. В циклонах первого типа вращение газа осуществляется с помощью лопастного статора, при этом внешние силы газового потока



обогащаются твердыми пылевыми частицами, которые одновременно частично агломерируются (рис. 7.5). Степень эффективности очистки газов в циклонах зависит от режима работы и существенно уменьшается при снижении расхода газа. **Поэтому применение циклонов нецелесообразно в установках с переменным режимом**

Рис.7.5. Прямоточный циклон ЦКТИ.

**работы.** КПД циклонов зависит от концентрации пыли и размеров частиц. Эффективность очистки газов в них при размере частиц 30...40 мкм составляет около 98%, при 10 мкм - 80%, при 4...5 мкм - 60%. Поэтому циклоны широко применяются лишь для улавливания частиц размерами 10 мкм и более, и преимуществами их являются простота конструкции, а также сравнительно небольшие габариты. Они могут быть выполнены из различных материалов, устойчивых к действию высоких температур, коррозии, износу. К недостаткам этих аппаратов следует отнести большие затраты энергии (до 40%) на создание вращения потока. К аппаратам центробежного действия относятся также **ротационные и вихревые пылеуловители.** В отличие от рассмотренных выше устройств ротационные очистители обладают большей компактностью, так как вентилятор и пылеуловитель совмещены в одной конструкции. Они часто применяются для очистки газов от относительно крупных фракций пыли (более 5...8 мкм).

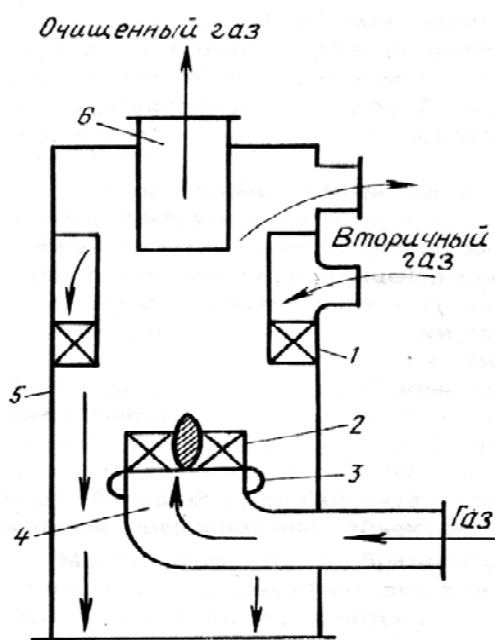


Рис.7.6. Вихревой пылеуловитель лопаточного типа: 1-завихритель; 2-завихритель; 3- шайба; 4-патрубок; 5 - камера; 6 - отводящий патрубок.

Как правило, применяются вихревые пылеуловители двух типов: соплового и лопаточного. Принцип действия последнего показан на рис.7.6. Отличительные особенности вихревых пылеуловителей - высокая эффективность очистки газов в них от тонких фракций размером менее 3...5 мкм, а также слабая зависимость эффективности от расхода запыленного газа. Процесс

очистки в них зависит в основном от параметров вторичного потока газа, и при



их постоянстве остается неизменной окружная скорость запыленного газа, что обеспечивает действие на частицы центробежной силы, определяющей эффективность очистки. Пропускная способность установок 20...315000 м<sup>3</sup>/ч. Для улавливания частиц размерами 25...35 мкм и более могут быть использованы и радиальные пылеуловители (рис.7.7.). В них частицы пыли отделяются от газового потока в результате совместного действия гравитационных и инерционных сил.

К аппаратам **мокрого пылеулавливания** относятся противоточные оросительные (промывные) башни, различные скрубберы, трубы Вентури, барботажно-пенные пылеуловители. Улавливание частиц в них осуществляется в результате использования сил инерции и броуновского движения. В основу работы этих устройств положен принцип осаждения частиц пыли на

поверхности капель или на пленке жидкости (воды). К недостаткам такого рода устройств относятся: зависимость эффективности работы от смачиваемости пыли, сложность очистки образующегося в процессе работы шлама, опасность щелочной или кислотной коррозии при очистке некоторых газов, ухудшений условий рассеивания увлажненных газов через дымовые трубы, вынос влаги и образование отложений в отводящих газоотходах при охлаждении газов ниже точки росы, необходимость создания систем обратного водоснабжения, повышенный расход энергии.

Для очистки газовых выбросов широко используются и различные **фильтры** с пористыми материалами. Качество очистки газов в них зависит от плотности и толщины применяемых материалов.

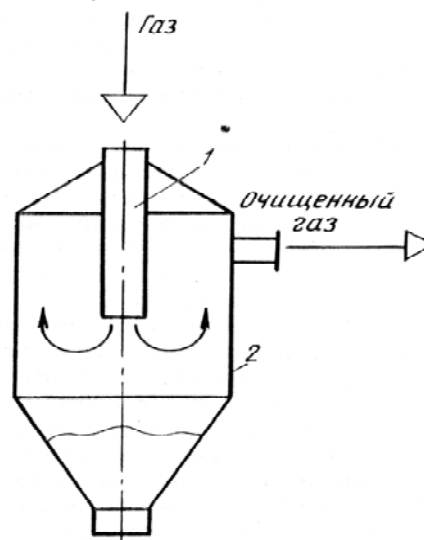


Рис.7.7. Радиальный пылеуловитель  
1-входной патрубком; 2- корпус.

**Классификация фильтров** производится по типу фильтрующей перегородки, тонкости очистки, конструкции. Они делятся на фильтры:

- с зернистыми слоями (неподвижные, свободно насыпанные и кипящие слои);
- с гибкими пористыми перегородками (ткань, войлок, губчатая резина, пенополиуретан, перхлорвиниловые и другие синтетические волокна);
- с полужесткими пористыми перегородками (вязаные сетки, прессованные спирали, стружка и др.);
- с жесткими пористыми перегородками (пористые керамика и металлы и др.).

Фильтры обеспечивают высокую эффективность очистки газов как от крупнодисперсных, так и от мелкодисперсных частиц. Вместе с тем они создают повышенное гидравлическое сопротивление в газоходах, что вызывает необходимость дополнительных затрат энергии на перемещение газов.

Одним из наиболее совершенных способов очистки газовых потоков от частиц пыли и аэрозолей является **очистка в электрофильтрах**. Этот процесс основан на ударной ионизации газа в зоне коронирующего разряда, передаче заряда ионов частицами примесей и осаждении их на осадительных и коронирующих электродах. Электрофильтры работают эффективно и экономично при больших объемах выбросов и высоких температурах. Затраты на содержание и обслуживание электрофильтров составляют около 3% общих эксплуатационных расходов. Электрические уловители могут использоваться для очистки выбросов от аэрозолей минеральных масел, пластификаторов и т.п.

Для повышения эффективности работы циклонов или фильтров используются ультразвуковые устройства. Ультразвук вызывает коагуляцию и укрупнение частиц пыли. Хороший эффект ультразвуковые пылеуловители дают только при высокой концентрации пыли или аэрозоля в очищаемом газе.

Важная проблема охраны природы - изыскание и применение эффективных методов и средств очистки газовых выбросов от газо- и парообразных вредных примесей, а также их утилизация. Как уже указывалось, в связи с быстрым развитием промышленности, теплоэнергетики и транспорта в атмосферу выбрасывается большое количество таких газообразных веществ, как диоксид углерода, диоксид и триоксид серы, сероводород и другие сернистые газы, оксиды азота, ряд кислот и др. В большинстве случаев эти выбросы наносят большой ущерб растительности, животному миру и человеку, а также многим предприятиям, объектам коммунального хозяйства и транспорту.

До высокой степени совершенства доведены золоулавливающие установки. Необходимость очистки газов от золы связана помимо защиты атмосферы также с предотвращением абразивного износа дымососа.

Но всегда ли правильно эксплуатируются действующие очистные устройства? Далеко нет. Только в Минске в сутки сбрасывается в канализацию 1300 кг нефтепродуктов, 500 кг хрома, 400 кг железа. Естественно, эти и другие отходы затрудняют работу городских очистных сооружений. Поэтому повышение уровня очистки воды непосредственно на предприятиях имеет большое значение.

Как известно, по санитарным нормам на одного городского жителя в сутки подается до 200-350 л питьевой воды. В Минске утечки через неисправные краны, сливные бачки достигают 10% от объема водопроводной воды, что примерно равно трем объемам таких водохранилищ, как Криницы и Дрозды. Все мы должны не на словах, а в повседневной жизни беречь каждый водоем, каждую речушку, чтобы чистые, прозрачные реки и озера украшали нашу республику.

*Экономическая эффективность Э* - обезвреживания ВЭР при их использовании определяется как разность между общим ущербом  $\mathcal{E}_y$ , который наносится биосфере загрязнением, и приведенными затратами на годовой

объем мероприятий по доведению ПДВ до норм ПДК  $\mathcal{E}_o$  плюс эффект от утилизации ВЭР ЦА (Ц - оптовая цена реализуемых ВЭР, А - годовой объем продукции ВЭР), т.е.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_y - \mathcal{E}_o + ЦА$$

Общий ущерб, который наносится биосфере загрязнением, определяется из выражения:

$$\mathcal{E}_y = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{y_i},$$

где  $\mathcal{E}_{yj}$  - ущерб от загрязнения биосферы  $i$ -м соединением ( $i=1,2,3\dots$ ) от  $j$ -го источника ( $j=1,2,3\dots$ ), р/год.

$\mathcal{E}_o$ - произведение приведенных затрат и годового объема обезвреживания ВЭР.

Если  $\mathcal{E}_o > \mathcal{E}_y + ЦА$ , то выбранный вариант использования ВЭР не экономичен, и, следовательно, необходим новый вариант применения ВЭР или системы их обезвреживания. Например, если после установки систем дожигания и утилизации содержание оксида углерода в выбросах снизилось с 5 до 0.1%, то экономический эффект при расходе газа 1000 м<sup>3</sup>/ч составит сумму порядка 60 тыс.р/год. Дожигание СО позволит утилизировать теплоту сгорания, увеличить значение стоимости сэкономленного топлива.

## ТЕМА 8. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ.

### 8.1. Тепловые потери в в деталях строений. Эффективная теплоизоляция зданий и сооружений.

Частные домовладельцы в западных странах используют почти 30% всей получаемой энергии, что составляет почти столько же, сколько и промышленность, и больше, чем весь, вместе взятый, транспорт. Большая часть расходуемой энергии (80%) идет на отопление помещений (рис.8.1)

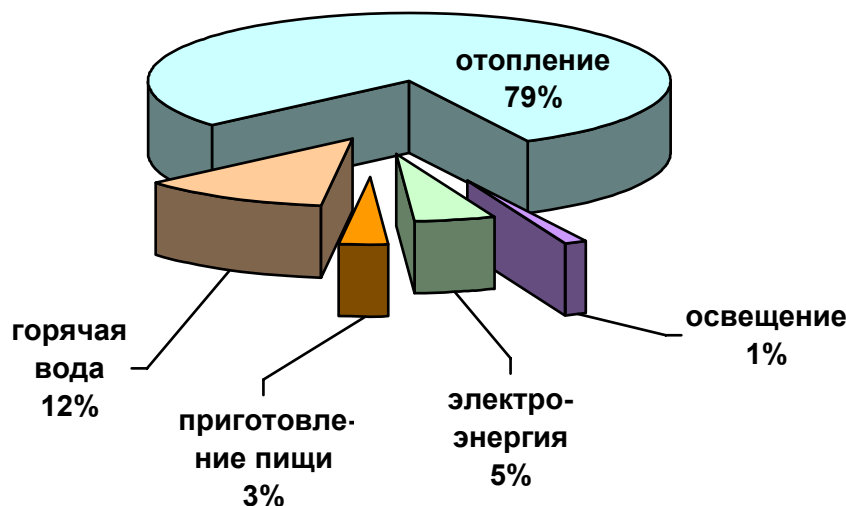


Рис.8.1 Диаграмма потребления энергии в частном домовладении

В Беларуси в настоящее время строится огромное количество коттеджей, и мало кто из хозяев обращает внимание на такие "мелочи", как теплоизоляция и энергосбережение, хотя затраты на отопление 1м<sup>2</sup> в Беларуси относятся как 1:2,5 к соответствующим показателям западных стран.

Необходимая для осуществления жизненных функций энергия, а точнее, ее получение и использование, связано с нагрузкой на окружающую среду:

добыча угля, нефти, газа, ядерного топлива, эмиссия продуктов сгорания, тепловое загрязнение окружающей среды.

Жилища, которые теперь разрабатываются или модернизируются, определяют и новые пределы потребления энергии и теплового давления на окружающую среду, а так же цены на энергию в будущем.

Энергосберегающие мероприятия так же являются средством сокращения общего энергопотребления. Несмотря на снижение мировых цен на нефть в 80-е годы, мы должны хорошо осознавать глобальную тенденцию повышения цен на энергию, что особенно актуально для Беларуси. Возможным является резкий скачок мировых цен, как это показал кувейтский кризис.

Как сознательный хозяин своего дома, каждый человек должен самостоятельно принимать решения при строительстве своего жилья в вопросах будущего энергопотребления, а не оставлять этой проблемы специалистам. Этим вы делаете вклад в свое счастливое будущее.

### **Энергопотребление может быть значительно снижено.**

При применении известной во многих странах строительной и теплозащитной технологии появляется возможность удержать годовое потребление энергии в пределах 30-70 кВт·ч/м<sup>2</sup> жилой площади. Это примерно соответствует потреблению 3-7 л нефти или 3-7 м<sup>3</sup> газа на 1 м<sup>2</sup> жилой площади в год.

Что такое дом с низким энергопотреблением? В дальнейшем ДНЭ - это такое сооружение (площадь 11х14м, жилая –190м<sup>2</sup>, окна – 50 м<sup>2</sup>, крыша – 190 м<sup>2</sup>, подвал – 154 м<sup>2</sup>, наклон крыши – 45<sup>0</sup>), которое потребляет очень немного тепловой энергии, меньше 70 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год (от 70 до 30 кВт·ч/м<sup>2</sup>). Это соответствует годовому потреблению тепловой энергии от 300 до 700 м<sup>3</sup> газа при жилой площади 100 м<sup>2</sup>. Кроме этого, ДНЭ отличается также малым потреблением энергии для обеспечения горячей водой.

**Коэффициент теплопередачи** (КТП) – единица, которая обозначает прохождение теплового потока мощностью 1 Вт сквозь элемент строительной

конструкции площадью  $1 \text{ м}^2$  при разнице внутренней и внешней температур в  $1 \text{ }^\circ\text{C}$

Тепловые показатели дома с низким энергопотреблением (пример):

- средний КТП:  $0.3 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- норма воздухообмена: 0.3 раз в час;
- КПД обогревающего устройства: 0.78;
- годовое потребление тепловой энергии:  $42 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади.

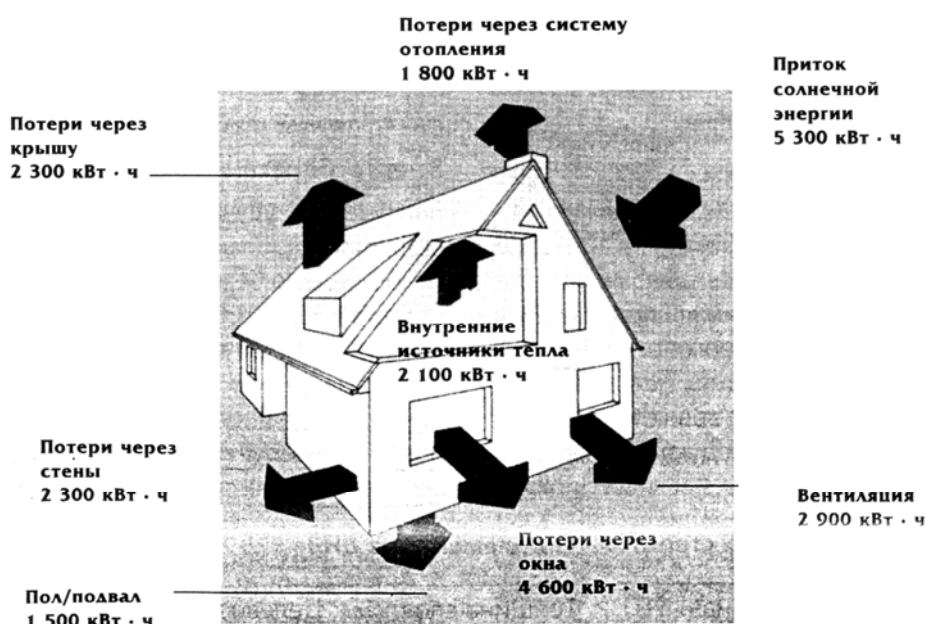


Рис.8.2. Годовые приток и потери энергии дома (соответствие с ДНЭ критериями).

*Разность (нехватка) энергии должна быть компенсирована отоплением.*

Для достижения низкого уровня потребления ДНЭ не обязательно применять специальные или экзотические архитектурные формы. Радикальное уменьшение потребности в тепловой энергии возможно без отказа от современного жизненного комфорта и разнообразных строительных форм, как для многоквартирного, так и для многоквартирных домов.

При рациональном подходе и хорошем планировании они могут быть уменьшены, например, если вы используете в качестве наполнителя самонесущих каркасных стен прессованную солому или легкие

глиносоломенные смеси.

Кроме пользы для окружающей среды, низкое потребление энергии экономит затраты на отопление, а это также означает более высокую степень уверенности с точки зрения перспективного повышения цен на энергоресурсы.

Кроме сохранения уютного домашнего климата и комфорта, ДНЭ предлагает также наилучшие решения для использования регенеративных источников энергии (например, солнечные коллекторы для подогрева воды). Система уменьшения водо- и энергопотребления представляет собой естественное дополнение ДНЕ-концепции.

Большинство домовладельцев имеют ограниченные денежные средства, и не все, что хотелось бы осуществить, является достижимым. Ошибочной является экономия на теплоизоляции дома, так как ее почти невозможно улучшить в будущем.

#### **Основные принципы достижения низкого энергопотребления:**

1. Хорошие теплоизолирующие свойства строительных элементов (стен, окон, крыши, пола, подвала).
2. Добросовестное выполнение теплоизоляции: недопущение теплопотерь; плотная оболочка строения (защита от ветра и т.п.);
3. Пассивное использование солнечной энергии и ее аккумулирование, суточное или сезонное;
4. Управляемый воздухообмен (по возможности - возвращение тепла).
5. Хорошо регулируемые отопительные устройства.
6. Энергоэкономное обеспечение горячей водой, возможно, посредством солнечной энергии в летнее время.
7. Устранение бесполезных расходов электроэнергии.

Качество теплоизоляции является важнейшим параметром энергопотребления дома. Требуемые величины теплопроводности крыш, стен и пола является важнейшими условиями для следующих шагов к ДНЭ.



Энергосберегающее - значит экологично. Значительно улучшенная тепловая защита является условием экологически относительно безвредного существования строения. Среди теплоизоляторов-наполнителей существуют определенные отличия, например, широко используемый пенопласт не вполне безопасен. Предпочтение следует отдавать природным, экологически чистым материалам.

Рассмотрим конструктивные элементы ДНЭ и способы достижения экономичного параметра коэффициента теплопередачи.

**Наружные стены.** Необходимо довести значение КТП от максимального -  $0,3 \text{ Вт/С}\cdot\text{м}^2$  до лучшего показателя -  $0,2 \text{ Вт/С}\cdot\text{м}^2$ . Это соответствует увеличению средней толщины утепляющего слоя до 15-20 см. Этих значений можно добиться во всевозможных конструкциях, используя следующие подходы:

1. Кладка с утепляющим слоем 15-20 см и воздушной прослойкой под наружной оболочкой.

2. Двойная стена с толщиной утепляющего слоя 15 см из пористого наполнителя.

3. Стена с утепляющим слоем пористого наполнителя 15-20 см и штукатуркой (рис.8.3).

4. Облегченная кладка с воздушной прослойкой под обшивкой из дерева, обложенная с двух сторон пористым наполнителем 20 см толщиной.

5. Однослойная кладка из низкотеплопроводного материала (например, прессованный соломенный



Рис.8.3 Утепленная стена («Термошуба»)

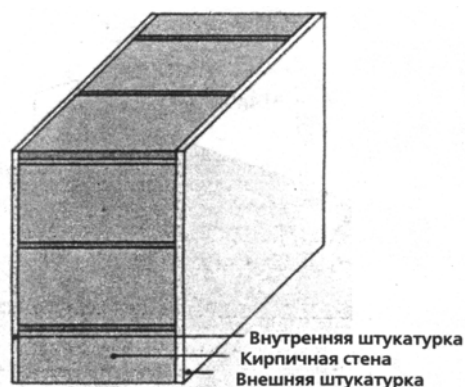


Рис.8.4 Массивная стена

или газобетонный блок минимальной толщиной 40 см), оштукатуренная с двух сторон (рис.8.4).

Не имеет значения, легкими или тяжелыми будут наружные стены. Энергосберегающая способность, необходимая для жизненного комфорта дома, определяется массой внутренних строительных и конструктивных элементов.

Расходы на применяемые пористые наполнители сильно отличаются в зависимости от структуры стен. Они составляют 1-50%, в зависимости от вкуса, возможностей и предусмотренных стандартом норм.

**Окна и теплозащитное стекло.** Окна должны иметь КТП не более 1,5 Вт/С·м<sup>2</sup>. Это достигается обычными средствами: рамой с двухслойным теплозащитным стеклом. Теплозащитные окна имеют специальный слой, не видимый глазом, но значительно уменьшающий потери тепла. Этот эффект увеличивается при наличии небольшого зазора между первым и вторым слоем, в этом случае расход тепла уменьшается почти в два раза. Окна в теплозащитном исполнении стоят 15-20% дороже обычных и эти затраты компенсируются экономией на отоплении. Новая стеклоизоляционная система имеет еще более низкий КТП и основана на принципе "теплового доида". Такие оконные системы можно поворачивать на 180°, в зависимости от потребности в тепловой энергии.

Стены, перекрытия и другие составляющие части подвала, соприкасающиеся с землей, а также стены и перекрытия неотапливаемых помещений могут иметь значение КПП от 0.3 до 0.35 Вт/С·м<sup>2</sup>, что предполагает толщину слоя теплоизоляции от 12 до 15 см.

При покрытии неотапливаемых помещений обычно делают частичное утепление непосредственно под полом (около 2-3 см), но большая часть утепления крепится снизу на обратной стороне железобетонной плиты (см.



*Рис.8.5 Сокращение теплопотерь в цокольном этаже при неотапливаемом подвале*

рис.8.5). Эти работы могут быть легко проведены собственными силами, но следует иметь в виду высоту подвала, чтобы она была достаточной. Это утепление можно сделать и в незаглубленных помещениях.

В обогреваемых подвалах утепление перекрытия может соприкасаться с первым этажом помещения. В этом случае общее утепление может осуществляться с наружной стороны по периметру. Если потолок подвала находится выше поверхности земли, то для защиты утепляющего слоя нужны дополнительные мероприятия.

В подвалах, которые не используются постоянно, возможным является внутреннее утепление. Этот способ имеет некоторые преимущества, т.к. помещения быстрее прогреваются. Но, в любом случае, внутреннее утепление связано с определенными проблемами, поэтому планирование, разработка и

проведение работ в этом случае должны проводиться под руководством специалистов.

**Теплая шапка на крышу.** Крыши, ровные или с наклоном, покрытия цокольных помещений могут иметь КПП не более  $0,20 \text{ Вт/С}\cdot\text{м}^2$ . Это соответствует утепляющему слою около 20 см. там, где это является технически возможным, нужно стремиться к значению КПП от  $0,15 \text{ Вт/С}\cdot\text{м}^2$  и меньше, что соответствует толщине слоя около 30 см. В наклонных крышах в зависимости от высоты балок свода потолка большая часть утеплительного слоя размещается между балками, а также над или под ними. Такое размещение позволяет избежать утечек тепла (щели, дырки и т.п.). Вопреки практике, которая применялась до настоящего времени, в таких крышах можно отказаться от воздушного слоя над утепляющим пластом.

Если цокольный этаж используется целый год, его нужно своевременно утеплить. Если цокольный этаж не построен, необходимо соответствующим образом утеплить перекрытия верхнего этажа. Чем толще профильное утепление строительных деталей, тем больше вероятность существования утечек тепла. Внимательно и качественно необходимо подходить к рассмотрению стыковочных элементов конструкций дома (рис.8.6).

### **Критические зоны (рис.8.6):**

1. **Соединение стена - крыша.** Теплоизолирующие слои крыши и стен должны неразделимо соединяться между собой как в зоне водостоков, так и в фронтальной зоне. Массивные стены должны покрываться теплоизолирующим слоем. Стыки между балками и стенами заделываются утепляющим материалом, а также покрываются ветрозащитным слоем.

## 2. Соединение

**железобетонных элементов.** В том случае, если стены сооружений имеют однослойную структуру, нужно обеспечить слой утепления на торцевых поверхностях перекрытий. Дополнительно нужно соорудить утепляющую прокладку на перекрытии первого этажа с внутренней стороны.



Рис.8.6. Потери энергии в деталях строений (критические зоны)

## 3. Жалюзи.

В жалюзи может попадать холодный воздух, поэтому изнутри их надо утеплять с помощью добротного материала или использовать пенозаполненный профиль.

## 4. Стыки окна - стены.

Стыки соединений между окнами и строительными элементами закрываются добротными утепляющим материалом (монтажный герметик не достаточен).

## 5. Оконная рама.

Оконная рама должна иметь утепляющий слой как с наружной, так и с внутренней стороны. Если этого нет, следует предусмотреть термическое разделение.

## 6. Радиаторные ниши.

Если радиатор вмонтирован в нишу, необходимо предусмотреть дополнительный утепляющий слой в этом месте.

## 7. Предотвращение утечек тепла.

Во всех домах, прежде всего, в местах соединений имеются элементы, выступающие за его границы, например, балконы. Из-за этого увеличиваются утечки тепла непосредственно через эти строительные элементы. Утечки тепла возможные также в случае ошибок строительства. Поэтому стройте как можно более компактно и избегайте слишком разбросанных архитектурных форм. Балконы должны быть изолированы от строения.

**Воздухо- и ветрозащитные оболочки.** Многие архитекторы и домовладельцы делают для себя неприятное открытие, что, несмотря на хорошее утепление наружных строительных частей, трудно достичь хорошего значения среднего потребления энергии.

Во многих случаях причинами этого являются недоработки конструкции, что влечет за собой легкое проникновение холодного воздуха извне.

Встречается также мнение, что для лучшего жизненного комфорта в помещении нужно следить за паропроникновением через строительные элементы. Считается, что следует избегать по возможности паросберегающих строительных элементов в конструкции.

Обычно при этом не помнят, что паропреграды частично выполняют функцию теплоизоляции и поэтому не могут быть заменены, даже если и являются несущественными с точки зрения диффузии. Для здорового жизненного климата нет вопроса, прошла ли пароводяная слагающая или нет. Отвод влаги - задача вентиляции.

Фактом является то, что простой проход воздуха через наружные строительные элементы значительно ослабляет теплозащиту сооружения. Кроме того, возможны повреждения от влаги деревянных частей строения ее конденсации (например, при наклоненной крыше), когда теплый внутренний воздух через щели и отверстия достигает холодных частей конструкции. Вопрос о "герметичности" здания и правильно организованной регулируемой вентиляции с рекуперацией тепла является одним из наиболее важных.

Свежий воздух, необходимый людям, должен подводиться в дом другими путями. Обеспечение дома свежим воздухом, безусловно, хорошо влияет на здоровье и самочувствие жильца. При проветривании выводятся вредные вещества из жилых комнат, кухни и ванной комнаты.

Отмечен ранее незаметный и неконтролируемый воздухообмен из-за небрежности в "оболочке" дома, например, через щели в окнах, из-за чего теряется много энергии.

Чтобы сохранить энергию, нужно сократить проветривание и в то же время меньше отапливать квартиру. Это приводит к повышению относительной влажности воздуха, повышается риск появления затхлости в квартире. В домах с плохой теплоизоляцией это ведет к появлению влаги на внутренних поверхностях внешних строительных элементов, что приводит к появлению плесени.

Созданные для вентиляционных систем технические средства являются инструментом так называемой контролируемой вентиляции. Это оборудование решает задачу достаточной и экономичной вентиляции. Оно состоит всего из маленького вентилятора на крыше, вентиляционного канала, а также нескольких вентилях (рис.

8.7).

#### Функциональный

принцип является очень простым. Освежающий

вентилятор ликвидирует, прежде всего, влажность и запахи (ванная комната, туалет, кухня). Это

приводит к тому, что в доме понижается давление, благодаря чему свежий

воздух стремится снаружи

внутри через специальные вентиляционные отверстия. Регулируемая вентиляционные отверстия установлены в комнатах, в которых необходима вентиляция (жилые, спальня) в стенах или оконных рамах. В отличие от известных ранее, эти вентиляционные отверстия функционирует в дальнейшем независимо от силы ветра. Если эти отверстия установлены над радиаторами, тогда поступающий свежий воздух смешивается с теплым, идущим от

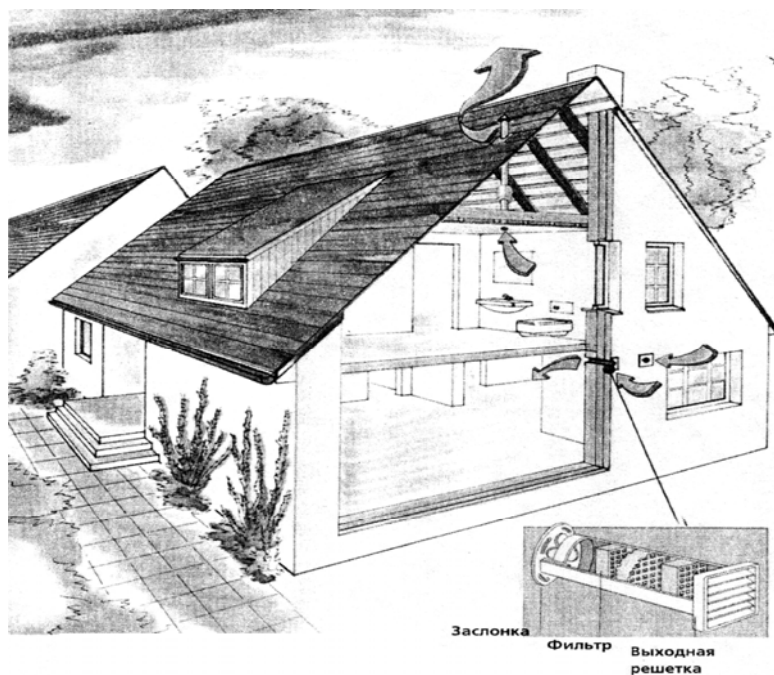


Рис. 8.7. Устройство вентиляционного канала

радиатора. Мощность вентилятора и воздухообмен является настолько малым, что движение воздуха совсем не ощущается, а шум от работы практически не слышен. Кроме одного выключателя при выходе или на кухне вентилятор может регулироваться в зависимости от необходимости двумя или тремя режимами, или совсем выключаться, когда отсутствует, либо не на полную мощность работает отопление. Еще более совершенным будет регулирование количества вентилируемого воздуха с помощью датчиков влажности. Это сделано таким образом, что воздух возобновляется регулярно, но не более, чем требуется. Таким образом, расход энергии вентилятора, расход тепла может быть значительно уменьшен без ущерба качеству.

## **8.2. Рациональные системы отопления зданий и сооружений. Повышение эффективности систем отопления.**

В хорошо изолированном ДНЭ многие источники бесплатного тепла существенно снижают тепловую потребность по сравнению с плохо изолированным домом. Количество этой бесплатной энергии может сильно колебаться на протяжении дня. Поэтому отопительная система должна быстро и точно реагировать на эти колебания, чтобы эффективно использовать бесплатную энергию. Подача тепла должна и регулироваться и, при отсутствии потребности в тепле - прекращаться. В интересах динамического регулирования общая масса отопительной системы должна быть как можно меньше по отношению к количеству отданного тепла.

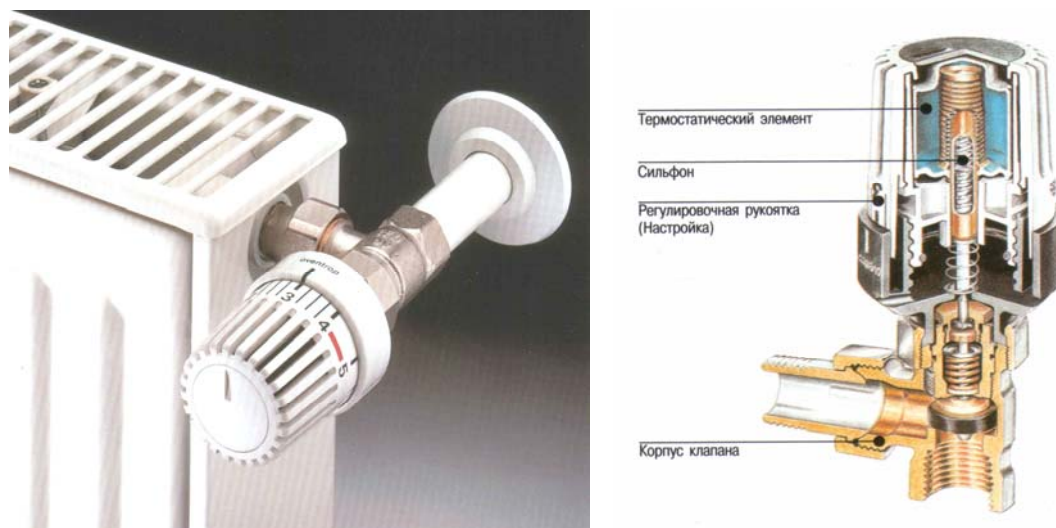
Хорошо зарекомендовали себя в плоские обогреватели с небольшим содержанием воды, конвекторы, или так называемые рамочные обогреватели.

Важное значение имеют специальные термовентили со встроенным приспособлением аналоговой регуляции (рис.8.8).



Эффективны также системы воздушного отопления, комбинируемые с системами многократного использования воздушного тепла

Не рекомендуется из-за инерции системы отопления полов, если они не связаны с использованием аккумулированной солнечной энергии. Отопительные системы должны быть хорошо продуманы на основании расчетов отопительной сети. С помощью предохранительных вентилей или



*Рис.8.8 Радиаторный термостат*

дифференциального насоса нужно следить, чтобы регулирующие вентили не перегружались при малой потребности в тепле.

Нельзя также отказываться от общей центральной регуляции отопления, которая уменьшает или увеличивает приток тепла в зависимости от смены дня и ночи, а также отключает систему при отсутствии потребности в тепле (рис.6.1).

**Передача тепла.** Критерием выбора для системы передачи тепла должно быть преимущественное потребление энергии и выброс вредных веществ на единицу произведенного необходимого тепла. Принимая во внимание малое теплотребление односемейного ДНЭ, хорошим выбором с финансовой точки зрения является газ-комби-терм (отопление жилья с одновременным нагреванием воды). Газ-комби-терм является газовой колонкой с автоматическим регулированием мощности, которая греет воду в

отопительной системе, поддерживающей заданную температуру в каждой комнате отдельно. Она же одновременно поддерживает горячей (60°C) воду в теплоизолированном баке для хозяйственных нужд. По желанию этот бак может быть соединен с солнечным коллектором, что окупается за несколько лет. Управляет работой всей системы блок автоматики.

### **Техника использования теплоты продуктов сгорания**

Принимая во внимание сохранение первичной энергии и общую энергетическую нагрузку на окружающую среду можно признать наилучшим решением механизм использования теплоты продуктов сгорания. Большие капитальные вложения этой системы окупаются благодаря лучшему использованию энергии (для газа около 10%) и долгим циклом работы.

При большом количестве потребляемой энергии или при соединении нескольких домашних хозяйств возможно использовать теплоэлектроцентрали (тепло от дизельной, угольной либо газовой теплоэлектростанции). Это является наилучшим выходом при условии коротких коммуникаций.

В связи с возможностью рекуперации тепла воздуха рекомендуется использования воздушных отопительных систем вместо систем с панельными радиаторами и горячей водой. При этом объем воздуха, принесенного системой обмена, нагревается в заданном режиме. Хотя такие отопительные системы оказываются очень дорогими в сравнение с обычным паровым отоплением, они все же они имеют еще и такое преимущество, как интегрирование с системой вентиляции.

В многоквартирном доме коммуникации для горячей воды должны быть запланированы очень короткими, поскольку в таком случае можно реально сократить потери тепла. С помощью таймера необходимо также прекращать подачу тепла в периоды, когда потребности в тепле нет.

**Получение горячей воды с помощью солнечной энергии.** Для частичного домашнего хозяйства это является самой эффективной возможностью использования обновляемой энергии. Солнечные батареи могут

обеспечить около 50% годовой потребности в горячей воде. Причем с мая по сентябрь они могут полностью обеспечивать эту потребность. При недостатке солнечного света данная система обеспечивает по крайней мере подогрев воды в верхней части теплообменника. Таким образом можно обеспечивать рациональное распределение энергии между системами. Все компоненты системы, такие, например, как коллекторные пластины, теплообменники, теплокоммуникации могут быть смонтированы в соответствии с потребностью и рационально соединены между собой. Установку можно провести своими силами и таким образом уменьшить общую стоимость. Простейший солнечный коллектор, разработанный в Белорусском отделе Международной Академии экологии, предназначенный для установки на шиферные крыши, имеет себестоимость всего \$ 10/м<sup>2</sup> и по основным характеристикам соответствует западным образцам.

**Не рекомендуются системы отопления с использованием электроэнергии.** Рефлекторные отопительные системы (например, электроаккумуляторное отопление) не могут быть рекомендованы с экологической точки зрения, так как использование первичной энергии и выбросы более чем в два раза превышают аналогичные показатели систем на горючем топливе. Электрические теплонасосы с точки зрения использования первичной энергии и выброса вредных веществ приблизительно настолько же эффективны, как и газовые отопительные системы. К тому же, электрические теплонасосы значительно дороже газовых систем.

### **8.3. Рациональное использование электрической и тепловой энергии в бытовых целях.**

Для того чтобы говорить о том, как сэкономить тот или иной вид энергии, необходимо в первую очередь выявить места, где это можно было бы

сделать с наибольшей результативностью, а также оценить, сколько и каких видов энергии мы потребляем.

Наиболее энергоемким является зимний период года. Для отопления и горячего водоснабжения одной среднестатистической квартиры Минска общей площадью 51 кв. метр с 3,6 жителями в каждой в течение года на тепловых станциях и котельных сжигается около 2 тонн нефти. Это непозволительно много. Например, удельный расход тепловой энергии на отопление в странах запада (благодаря более теплой зиме, лучшему утеплению зданий) на 40-50% ниже, чем у нас.

Кроме того, каждая семья потребляет 100-150 кВт·ч электрической энергии в месяц или 1200-1800 кВт·ч в год.

Основную долю расходов, связанных с отоплением, горячим водоснабжением и электрообеспечением большинства жителей, государство брало на себя. Тем не менее, несмотря на то, что в прямом виде мы будем в дальнейшем, как и сейчас, недоплачивать за тепловую и электрическую энергию, все же в скрытом виде (в виде недополученной заработной платы, высоких налогов, высоких цен на повседневные товары и иных платежей) нам придется платить примерно 360 долларов на семью в год (это прямые затраты государства на энергообеспечение квартиры), если **ЧТО-ТО** не изменится.

Это **ЧТО-ТО** состоит из:

- психологии потребителя;
- его знаний;
- возможностей воздействия на теплоснабжение;
- заинтересованностью в том, чтобы воздействовать (снижать) на теплопотребление.

Остановимся главным образом на втором и третьем пунктах, поскольку возможности потребителя повлиять на снижение потребления собственными силами зависят не столько от стимулов (заинтересованности), сколько от

знаний. Стимул (а он может быть не только экономическим) побуждает действовать. Знание дает возможность действовать.

Каждое современное здание оборудованное системой отопления, которая работает только в холодное время года, в течение так называемого “отопительного периода”. Продолжительность его в Минске составляет около 200 дней. В зимнее время приборы системы отопления работают для того, чтобы возместить потери теплоты из жилого помещения на улицу через стены, окна, а также для нагрева холодного свежего воздуха (без которого человек не в состоянии существовать), поступающего через форточки, двери, неплотности в окнах. Через окна теряется 27,3%, через стены – 29,3%, а за счет нагрева свежего приточного воздуха – 43,4% всей теплоты, поступающей из системы отопления.

Существенное сокращение потерь теплоты (в два – три раза) через стены и окна возможно лишь в результате реконструкции всего дома. Ее может выполнить только специализированная строительная организация и с использованием особых высокоэффективных материалов. Но реконструкция – это очень дорогостоящее мероприятие, провести которое везде одновременно невозможно. В то же время каждый жилец имеет немало возможностей для утепления своей квартиры.

Первое – это остекление лоджий и балконов. Важно, чтобы стекла и притворы створок были уплотнены. В этом случае тепловые потери через окна и стены квартиры, расположенные со стороны лоджии, будут снижены на 15-18%.

Следует запомнить, что снижение потерь на 7-9% позволяет увеличить температуру в помещении на 1°C. Таким образом, остекление лоджий увеличит температуру в примыкающей к ней комнате примерно на 2°C.

Второе – утепление окон установкой между рамами прозрачной полиэтиленовой пленки. Для этого открывается внутренняя оконная рама и к оконной коробке кнопками или клейкой лентой крепится пленка таким образом

чтобы расстояние от нее до внутреннего и наружного стекол было примерно одинаковым. Желательно, чтобы пленка по всему периметру окна плотно прилегала к оконной коробке. После установки пленки внутренняя створка окна закрывается. Такое окно равноценно окну с тройным остеклением. Теплотери через него почти на 20% ниже, чем через обычное двойное окно, традиционно применяемое в РБ.

Такого же результата можно добиться, если закрыть окно изнутри шторой, прилегающей к стене. Штора должна быть короткой, достающей только до подоконника. Это делается потому, что под подоконником всегда располагается нагревательный прибор системы отопления. Если штора опущена ниже подоконника, то поток теплого воздуха от батареи, поднимаясь вверх, попадает под штору к окну, увеличивая, а не уменьшая теплотери через окно. Поэтому штора должна лежать на подоконнике и плотно прилегать к стене, не допуская сообщения воздуха, находящегося между шторой и окном, с воздухом комнаты. Недостаток этой меры в том, что в комнату практически не проникает свет, и она может быть использована либо ночью, либо тогда, когда хозяева находятся на работе.

Здесь мы не говорим о хорошо известных и широко применяемых оклейке и уплотнении притворов окон и балконов.

Третье – тепловая защита того участка наружной стены, где расположен радиатор. К сожалению, эта мера не применима к тем квартирам, где нагревательный элемент размещен внутри стены. Такая компоновка – следствие грубого просчета проектировщиков. Защитить этот участок можно, поместив на стене за радиатором отражающую поверхность. Причем она не должна касаться радиатора и желательно, чтобы между ней и стеной был хотя бы небольшой воздушный зазор или слой тепловой изоляции (войлок, толстая ткань и т.п.).

**Вентиляция жилья.** Как уже отмечалось, 43,4% тепловой энергии из системы отопления расходуется на подогрев холодного приточного воздуха, поступающего с улицы. Эту долю можно снизить.

Каждая квартира оборудована системой естественной вытяжкой вентиляции. Вентиляционные отверстия расположены в ванной комнате, в туалете и на кухне на внутренних стенах, в верхней их части, и прикрыты металлическими или пластмассовыми решетками. Это – вытяжные отверстия. Через них вытяжной воздух из помещений удаляется на улицу. По законам физики работа этой системы зависит от разности температуры в помещении и на улице. По законам физики работа этой зависит от разности температуры в помещении и на улице. Чем ниже температура воздуха на улице, тем лучше она работает и больше теплого воздуха удаляется. На смену ему, благодаря создаваемому вытяжной вентиляции разрежению в квартире через неплотности в окнах, открытые форточки, двери, поступает холодный наружный воздух. Причем в холодную пору года действительный объем вентиляции зачастую превышает требуемую норму, приводя к увеличению затрат на отопление. Для того чтобы снизить объем вентиляции зимой, рекомендуется частично прикрывать вытяжные вентиляционные отверстия. Поскольку они оборудованы нерегулируемыми решетками, прикрыть их можно плотной бумагой или картоном. Вентиляционное отверстие, расположенное в ванной комнате, лучше всего закрыть. Хозяйки могут возразить: ”А как же быть с бельем после стирки? Будет ли оно сохнуть?” Да, будет, так как зимой воздух в помещениях очень сухой. В это время даже необходимо его увлажнять. Эту роль и будет выполнять высушиваемое в ванной белье. При открытом вентиляционном отверстии влага сразу же из ванной комнаты удалялась на улицу, при закрытом она будет поступать в комнаты, увлажняя воздух. Это благоприятно скажется на микроклимате квартиры и самочувствии жильцов, так как влажный воздух дает ощущение теплоты, а сухой – холода. Поэтому зимой увлажнение воздуха в помещении улучшает комфортное состояние людей.

Вентиляционные отверстия на кухне и в туалете могут быть приоткрыты наполовину и даже больше. Степень прикрытия каждый жилец должен определять индивидуально. Дело в том, что работа вытяжной системы зависит от того, на каком этаже расположена квартира. На нижних этажах вентиляция всегда работает очень хорошо, и здесь степень прикрытия может быть больше. На верхних – вентиляция может работать хуже, и вытяжка должна быть приоткрыта меньше. Уменьшение воздухообмена достигается также уплотнением окон и дверей, о чем уже было сказано. Эти меры позволят сберечь не менее 20% тепловой энергии.

Однако не следует увлекаться сплошной герметизацией квартиры, поскольку свежий воздух необходим для нормальной жизнедеятельности, а зимой взрослые и дети гораздо больше времени проводят в помещениях, чем на улице. Свежий воздух является средством профилактики от вирусных и респираторных заболеваний.

**Электрическая энергия.** Современная квартира, как правило, оборудована множеством электрических устройств: плита, холодильник, телевизор, магнитофон, стиральная машина, чайник, кофеварка, приемник, осветительные приборы и т.д.

Электроэнергия достаточно ценна и ее следует расходовать очень бережно. Рис. 8.9 дает представление о том, сколько электроэнергии потребляет в среднем за год каждый прибор. Значение этой проблемы также очень велико с экологической и финансовой точки зрения. На каждый сэкономленный кВт·ч энергии приблизительно на 3 кВт·ч снижается общая энергетическая нагрузка электростанции. Кроме того, стоимость электроэнергии в домашнем хозяйстве значительно дороже кВт·ч топливного сырья. Результаты такой экономии очевидны. Поэтому необходимым является использование всех возможностей для экономии электроэнергии.



## Приобретая приборы, необходимо следить за их энергоемкостью.

### Современные

электроприборы в домашнем хозяйстве потребляют почти что в 10 раз меньше электроэнергии, чем аналогичные 10-летней давности. Если очень экономичный прибор и дороже (правда, не всегда) среднего или неэкономичного, то почти всегда дополнительные затраты на него возвращаются благодаря

экономии электроэнергии. Это касается прежде всего традиционных ламп накаливания в сравнение с новыми экономичными компакт-лампами.

**Электроплита.** Наверняка вам уже приходилось сталкиваться со следующим явлением. Закипел на плите чайник, конфорка отключена, но чайник продолжает неистово кипеть. Простой совет: отключение конфорки заранее, еще до закипания чайника на 2–3 минуты, сэкономит вам до 20% электрической энергии. Момент отключения вы можете без труда установить по характерному шуму нагреваемой воды, который та начинает производить незадолго до закипания. Нагрев воды до кипения будет продолжаться и после отключения за счет тепловой инерции раскаленной конфорки.

Кстати, пользование электрическим чайником предпочтительнее, чем кипячение воды на плите. КПД чайника 90%, а конфорок электроплиты 50-60%. В этом случае, пользуясь чайником, можно сэкономить до 40% электрической энергии. Иными словами, израсходовав одно и то же количество электроэнергии, в чайнике можно нагреть до кипения воды почти вдвое больше, чем на плите. А рекордсменом по эффективности является обычный

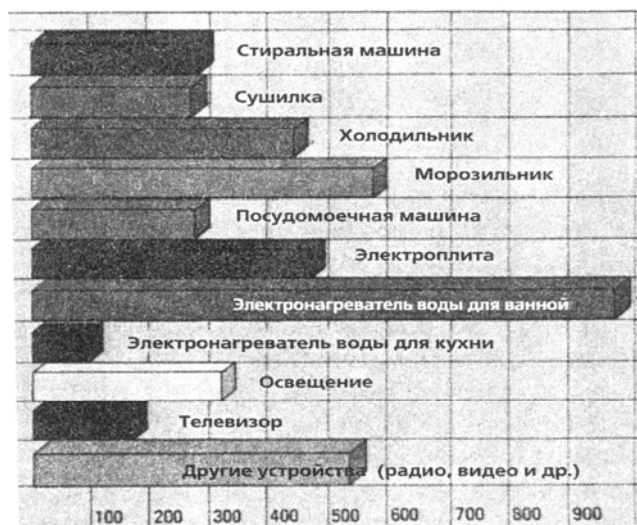


Рис.8.9 Средние показатели потребления электроэнергии бытовыми приборами (кВт·ч/год)

кипятильник. При его применении практически вся потребляемая электроэнергия расходуется на нагрев воды.

После приготовления пищи одна или две конфорки, как правило, остаются горячими. Следует поставить на них холодную воду перед тем, как заливать ее в чайник или кофеварку. Этим можно сберечь от 10 до 30% электроэнергии (в зависимости от температуры отключенной конфорки) при последующем кипячении, поскольку температура воды, заливаемой в чайник, будет не 8-10°C (температура холодной воды из-под крана), а 25-40°C (после подогрева на остывающей конфорке). Кстати, для приготовления как пищи, так чая и кофе желательно пользоваться предварительно отстоявшейся водой, а не из-под крана. Во-первых, отстаиваясь, вода нагревается почти до комнатной температуры (а это примерно 10% энергосбережения при ее последующем кипячении). Во-вторых, из воды частично уходят элементы, которые используются при ее обеззараживании (например, хлор), что важно для здоровья.

Примерно 30-40% потребляемой в доме электрической энергии приходится на холодильник. Необходимо его регулярно размораживать. Это даст 3-5% снижения потребления электроэнергии. Желательно, чтобы холодильник был установлен в наиболее холодном месте комнаты (у наружной стены), подальше от нагревательных приборов.

Следует чаще пользоваться настольной лампой, которая с лампочкой мощностью 30 Вт позволяет достичь лучшей освещенности на рабочем столе, чем люстра с тремя и даже пятью лампочками общей мощностью 180-300- Вт. В результате двойной выигрыш: сохранение зрения и сбережение электрической энергии.

В настоящее время в продаже появились лампы КЛЛ (компактные люминесцентные лампы), которые потребляют в 6-7 раз меньше электрической энергии по сравнению с лампами накаливания при одинаковой освещенности. Поскольку новые лампы намного дороже существующих, широкое их

применение вряд ли возможно, так как цена на электричество для населения ниже себестоимости. По мере увеличения цены на электроэнергию ожидается, что популярность ламп КЛЛ будет расти.

Очень важно также отметить, что побуждение к энергосбережению должно опираться не только на экономическую выгоду, но и на внутреннее убеждение. А дается это только постоянным воспитанием человека, формированием его поведения, здоровых потребностей. Не за горами тот час, когда всему человечеству придется задуматься о последствиях дальнейшего “прогресса”, который, по сути дела, означает гибель для всего живого. Наверняка речь пойдет уже не о развитии, а об ограничении потребностей, особенно в так называемых развитых странах, где их уровень чрезвычайно высок. Любая новая вещь, прибор, устройство, услуга – это дополнительные энергозатраты, дополнительный урон природе. Кстати, несмотря на сложившееся у нас мнение о том, что энергетические ресурсы на западе используются всегда рационально, можно привести обратные примеры. Образцом их рационального использования среди развитых стран является Япония. Примером же расточительства могут служить США. Так, если Япония для производства валового национального продукта стоимостью в 1 доллар тратит 0,266 кг нефти, то США – 0,436 кг. Удельная выработка электроэнергии на душу населения в год в Японии составляет 6147 кВт·ч, в США – 11659 кВт·ч. в то время, когда удельные энергозатраты в Японии снижаются, в США – растут.

Что же касается Республики Беларусь, удельная энергоемкость валового национального продукта у нас примерно в два раза выше, чем в США, а выработка электроэнергии на душу населения примерно в два раза ниже.

## Литература

1. Теплотехника (Под ред. А.П. Баскакова), М. Энергоатомиздат, 1991.
2. Твайдел Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии - М, Энергоатомиздат, 1990.
3. Вторичные теплоэнергетические ресурсы и охрана окружающей среды. (Авт. В.В. Харитонов и др.) Минск, Вышэйшая школа, 1988.
4. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха (учебное пособие). (Под ред. Л.Б. Богуславского) М. 1990.
5. Н.М.Валехова и др. Нетрадиционные источники энергии. Киев, 1988.
6. Е.Я.Соколов, В.М.Бродянский. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М. Энергоиздат, 1981.
7. Методические рекомендации для преподавателей средних технических учебных заведений по энергосбережению. Комитет по энергосбережению и энергонадзору, Минск, 1996.
8. Е.И.Янтовский, Л.И.Левин. Промышленные тепловые насосы. М., Энергоиздат, 1989.
9. Л.С.Юдахин Энергетика проблемы и надежды, М., 1990.
10. Т.В.Щербакова Ветроэнергетические установки малой мощности, М., 1992
11. Д.Г.Денисенко Преобразование и использование ветровой энергии, Киев, Техника, 1992.
12. С.А.Левченко Возможность применения нетрадиционных источников энергии в Беларуси, Мн. 1998
13. А.М.Ботвинова Эффективное использование энергетических ресурсов в промышленности Республики Беларусь, 1995
14. Журнал "Энергоэффективность" 1997-1999г.
15. Журнал Энергия.