

КУРС ЛЕКЦИЙ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ»

Лекция 1 Введение. ТЭР. Основные источники энергии. Возобновляемые и невозобновляемые источники энергии. Характеристики топлива. ВЭР.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всего своего существования человечество использовало энергию, накопленную природой в течение миллиардов лет. При этом способы ее использования постоянно совершенствовались с целью получения максимальной эффективности. Энергия всегда играла особую роль в жизни человечества. Все виды его деятельности связаны с затратами энергии. На протяжении веков производству энергии предшествовало развитие научной мысли. Доступные виды энергии и способы их реализации оказывали непосредственное влияние на общество. Надежное и устойчивое энергообеспечение является основополагающим условием жизнедеятельности и развития любого государства. Особая роль энергетических ресурсов в жизнедеятельности общества особенно ярко была продемонстрирована во время нефтяного кризиса 1973-1974 гг. 70-е годы явили подлинную революцию в подходах к энергопотреблению в индустриальных странах, сумевших, практически не увеличивая потребление энергоресурсов, наращивать валовой национальный продукт. В последнее время очень остро встали вопросы энергосбережения в связи с развитием технического прогресса, появлением энергоемких производств и осознанием людьми ограниченности запасов природных топливно-энергетических ресурсов.

Республика Беларусь относится к числу государств, которые недостаточно обеспечены собственными топливно-энергетическими ресурсами. Республика вынуждена импортировать около 85% потребляемых энергоресурсов, основным потребителем которых является, в основном промышленность (примерно 60%). Сформированный во времена СССР, индустриальный комплекс Беларуси является достаточно энергоемким. Это существенно влияет на себестоимость выпускаемой продукции и в итоге на конкурентоспособность ее на рынке из-за значительной доли в себестоимости продукции величины затрат на топливно-энергетические ресурсы (до 25-45 %).

Длительный период неэффективного потребления энергоресурсов создал в республике огромный неиспользованный потенциал энергосбережения, который оценивается в 32-35% от уровня суммарного потребления топливно-энергетических ресурсов в 1997 году.

Такое положение требует осуществления специальных мер. Для координации действий различных министерств и органов управления, для наиболее эффективного и целенаправленного использования средств необходимо государственное регулирование мероприятий в области энергосбережения. Это в сочетании с экономическими стимулами снижения энергопотребления даст максимальный эффект, позволит выстроить наиболее эффективную политику в данной отрасли.

Поэтому энергосбережение, рациональное использование энергетических ресурсов является важной государственной задачей. Любой специалист должен знать и применять методы максимальной экономии топлива, тепловой и элект-

трической энергии, всемерного сокращения потерь энергетических ресурсов и произведенной энергии.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

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

Топливо-энергетические ресурсы – совокупность всех природных и преобразованных видов топлива и энергии, используемых в республике.

Вторичные энергетические ресурсы – энергия, получаемая в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии или в виде побочного продукта основного производства и не применяемого в этом технологическом процессе.

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов – использование всех видов энергии экономически оправданными, прогрессивными способами при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении законодательства.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов – достижение максимальной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении законодательства.

Показатель энергоэффективности – научно-обоснованная абсолютная или удельная величина потребления топливно-энергетических ресурсов (с учетом их нормативных потерь) любого назначения, установленная нормативными документами.

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии – источники электрической и тепловой энергии, использующие энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков, энергию ветра, солнца, редуцируемого природного газа, биомассы (включая древесные отходы), сточных вод и твердых бытовых отходов.

Пользователи топливно-энергетических ресурсов – субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории Республики Беларусь в качестве юридических лиц или предпринимателей без образования юридического лица, а также другие лица, которые в соответствии с законодательством Республики Беларусь имеют право заключать хозяйственные договоры, и граждане, использующие топливно-энергетические ресурсы.

Производители топливно-энергетических ресурсов – субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории Республики Беларусь в качестве юридических лиц, для которых любой из видов топливно-энергетических ресурсов, используемых в республике является товарной продукцией.

Под *энергетикой* или *энергетической системой* следует понимать совокупность больших естественных (природных) и искусственных (созданных человеком)

систем, предназначенных для получения, преобразования, распределения и использования в народном хозяйстве энергетических ресурсов всех видов.

Вторая трактовка энергосистемы, принятая среди энергетиков, следующая: *энергетическая система* – это совокупность взаимосвязанных электрических станций, подстанций, линий электропередачи, электрических и тепловых сетей, центров потребления электрической энергии и теплоты.

Энергетическая система делится на две – электроэнергетическую и теплоэнергетическую. Электроэнергетическая система включает все оборудование и установки по производству и преобразованию электрической энергии.

Производство электроэнергии обеспечивают электрические станции, преобразование – трансформаторы, транспорт и распределение электрической энергии – линии электропередачи, потребление – различные приемники.

Источники энергии

Источники энергии подразделяются на возобновляемые и истощаемые.

Возобновляемые источники энергии характеризуются отсутствием естественных возможностей накопления энергии, и поэтому использование их возможно по мере возникновения в них энергии. Эти источники можно разделить на две группы:

естественные, в производстве которых лежит постоянное получение энергии солнца (гидроэнергетика, ветроэнергетика, воспроизводимая биомасса);

антропогенные, куда входят тепловые, органические и другие отходы деятельности человечества.

Истощаемые энергетические ресурсы – это естественно образовавшиеся и накопившиеся в недрах планеты запасы веществ, способные при определенных условиях высвободить заключенную в них энергию. Это все виды ископаемого топлива (уголь, нефть, газ, торф), при сгорании которого расходуется кислород, выделяется используемое нами прямо либо косвенно тепло (его преобразуют) и вредные продукты сгорания: газообразные (СО, СО₂, окислы серы, азота и др.) и твердые (пылевидные и компактные). Процесс получения энергии из топлива негативно влияет на экологию в первую очередь атмосферы (например, возрастание содержания СО₂ вызывает климатические изменения – парниковый эффект, уменьшение содержания О₂ – одна из причин образования “озоновых дыр” – окон, через которые опасные для всего живого ультрафиолетовые излучения достигают земли).

Особыми видами истощаемых энергетических ресурсов являются расщепляющиеся (радиоактивные) вещества, находящиеся в недрах нашей планеты. На первый взгляд, ядерное топливо – это очень привлекательный источник энергии, поскольку выделение энергии тепла происходит без вовлечения в этот процесс расходуемых элементов атмосферы, и в идеале атомная электростанция – экологически чистый источник энергии. Наша цивилизация уже прошла пик эйфории по этому поводу. Практически оказалось, что экологическая безопасность АЭС относительна, зависит не только от неукоснительного соблюдения технологических режимов, но и надежности элементов оборудования. Срок службы оборудования АЭС оказался по этой причине в 2-3 раза меньше расчетного, демонтаж, замена элементов этого оборудования более дороги, чем сооружение новых станций. Практически не решена проблема захоронения радиоактивных отходов и изношен-

ного оборудования радиоактивной зоны. Опыт Чернобыля является убедительной иллюстрацией дорогой цены, которую приходится платить за АЭС.

Другим (альтернативным) способом использования энергии расщепляющихся материалов является *использование тепла земных недр*.

Ресурсы разделяют на *исчерпаемые* и *неисчерпаемые* (рис.1). В свою очередь, исчерпаемые можно разделить на *возобновляемые* и *невозобновляемые*. К возобновляемым относят ресурсы, восстанавливаемые природой (земля, растения, животные и т.д., к невозобновляемым — ресурсы, ранее накопленные в природе, но в новых геологических условиях практически не образующиеся (нефть, уголь и другие запасы недр). К неисчерпаемым относятся космические, климатические, водные ресурсы.

Поскольку органическое топливо, т.е. уголь, нефть и природный газ, составляет подавляющую часть всего энергопотребления, рассмотрим его в первую очередь. Образование органического топлива является результатом теплового, механического и биологического воздействия в течение многих столетий на останки растительного и животного мира, откладывавшиеся во всех геологических формациях. Все это топливо имеет углеродную основу, и энергия высвобождается из него, главным образом, в процессе образования диоксида углерода.

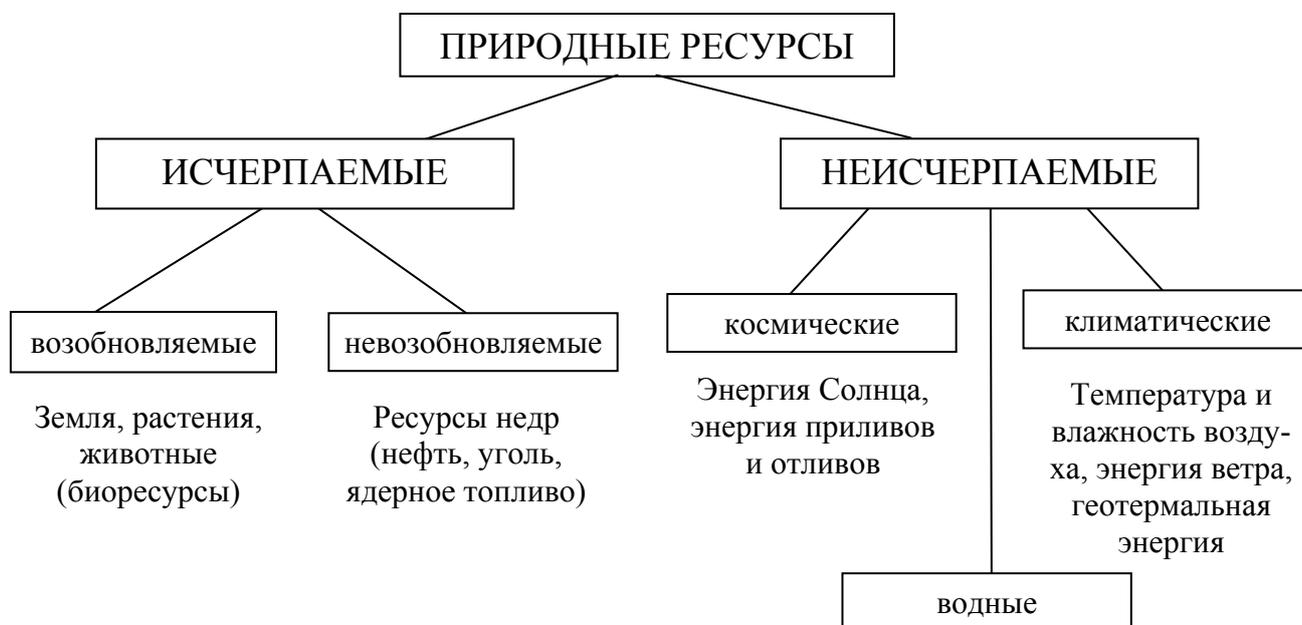


Рис.1. Классификация природных ресурсов

Возобновляемые источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Типичным примером такого источника является солнечное излучение с характерным периодом повторения 24 часа.

Основными источниками возобновляемой энергии являются:

- солнечное излучение;
- гравитационное взаимодействие Солнца, Луны и Земли (имеющее следствием, например, морские приливы и отливы);
- тепловая энергия ядра Земли, а также химических реакций и радиоактивного распада в ее недрах (проявляющаяся, например, в виде геотермальной энергии источников горячей воды – гейзеров).

Топливо

Органическое топливо состоит из горючих веществ, негорючих минеральных примесей и влаги.

Древесное топливо представляет собой в основном клетчатку ($C_6H_{10}O_5$), образующую стенки клеток, и межклеточное вещество со сложной молекулярной структурой – *лигнин*. Содержание в древесине клетчатки достигает 50–70 %, лигнина 20–30 %, остальное – воски, смолы, жирные кислоты.

Ископаемые твердые топлива характеризуются общностью происхождения горючей части. Они произошли в основном из растительной массы, но содержат также большее или меньшее количество белковых и жировых веществ животного происхождения.

Начальные стадии разложения в толще отмершей многоклеточной растительности, происходящие в заболоченных местах, где слой воды препятствует свободному доступу воздуха, называются *оторфенением*. Процесс оторфенения приводит к образованию темно-бурой массы – *торфа*, в котором встречаются остатки неразложившихся частей растений (листьев, стеблей).

Дальнейшие процессы преобразования торфяной массы приводят к образованию *бурых углей*. Продуктами последующих процессов преобразования бурых углей являются *каменные угли и антрацит*.

К твердым ископаемым топливам относятся и *горючие сланцы*. Они представляют собой минеральные породы, пропитанные органическими веществами.

Естественным жидким топливом является *нефть* – смесь жидких углеводородов различных молекулярных весов и групп. Кроме того, в ней содержится некоторое количество жидких кислородных, сернистых и азотистых соединений.

Природный газ чисто газовых месторождений состоит в основном из метана (95–98 % CH_4).

В искусственных и газообразных топливах (газ доменных и коксовых печей, генераторный газ) метана содержится мало. Горючими составляющими в них являются в основном водород H_2 и окись углерода CO .

Горючая часть топлива содержит углерод C , водород H , кислород O , азот N и серу S .

Основным элементом горючей части всех топлив является углерод C . Однако чем больше углерода в топливе, тем труднее оно воспламеняется. При сгорании водород выделяет на единицу веса примерно в 4,4 раза больше тепла, чем углерод.

Кислород и азот в топливе — *органический балласт*. Кислород, находясь в соединении с водородом или углеродом топлива, снижает количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива. Азот при сжигании топлива в атмосфере воздуха не окисляется и переходит в продукты сгорания в свободном виде.

Вредная примесь топлива – сера. В твердых топливах она встречается в трех видах – органическая S_{op} (входит в состав сложных высокомолекулярных соединений), колчеданная S_k (железный колчедан FeS_2), сульфатная (сульфаты $CaSO_4$, $MgSO_4$). При горении серы теплоты выделяется примерно в 3,5 раза меньше, чем при горении углерода. Содержание серы в топливе приводит к сильной коррозии низкотемпературных поверхностей нагрева.

Негорючие минеральные примеси – балласт топлива.

В газообразных топливах это углекислый газ CO_2 , азот N_2 и водяные пары H_2O .

В твердых топливах (кроме сланцев) примеси состоят в основном из глины $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, свободного кремнезема SiO_2 и железного колчедана FeS_2 .

В горючих сланцах примеси – в основном карбонаты.

В нефти негорючие примеси – это различные соли и окислы железа.

Второй составляющей балласта топлива является влага. Влага может попадать в топливо при его добыче и при транспортировке. Другой разновидностью влаги является капиллярная влага – она заполняет капилляры и поры твердого топлива. В твердых топливах содержится также коллоидная и гидратная влага. Последняя химически связана с минеральными примесями топлива ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) и глиной.

Различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива.

Высшей теплотой сгорания топлива Q^p_v называется количество тепла, выделяющееся при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м³ нормального газообразного топлива. В высшую теплоту сгорания входит тепло, выделяющееся при конденсации водяных паров, которые содержатся в продуктах сгорания топлива.

При температуре уходящих газов котельных агрегатов влага в продуктах сгорания находится в парообразном состоянии. Поэтому при тепловом расчете котельных агрегатов обычно пользуются *низшей теплотой сгорания топлива* Q^p_n , которая не учитывает скрытую теплоту парообразования водяного пара, содержащегося в продуктах сгорания топлива.

Теплоту сгорания топлива определяют экспериментально. Для этого служат специальные приборы – калориметры.

Теплота сгорания основных видов органического топлива колеблется от 6200–7500 кДж/кг (многозольные сланцы, высоковлажный торф, бурый уголь) до 25000–29000 кДж/кг (высококалорийный каменный уголь) и 33000–42000 кДж/кг (нефтепродукты и газ). В расчетах широко используется понятие “условного” топлива с теплотой сгорания 29309 кДж/кг (7000 ккал/кг).

Уголь. Мировые геологические запасы угля, выраженные в условном топливе, оцениваются в 14000 млрд.т, из которых половина относится к достоверным (Азия - 63%, Америка - 27%). Наибольшими запасами угля располагают США и Россия. Значительные запасы имеются в ФРГ, Англии, Китае, на Украине и в Казахстане.

Все количество угля можно представить в виде куба со стороной 21 км, из которого ежегодно изымается человеком «кубик» со стороной 1,8 км. При таких темпах потребления угля хватит примерно на 1000 лет. Но уголь - тяжелое неудобное топливо, имеющее много минеральных примесей, что усложняет его использование. Запасы его распределены крайне неравномерно. Известнейшие месторождения угля: Донбасский (запасы угля млрд.т), Печорский (210 млрд.т), Карагандинский. (50 млрд.т), Экибастузский (10 млрд.т), Кузнецкий (600 млрд.т), Канско-Ачинский (600 млрд.т), Иркутский (70 млрд.т) бассейны. Самые крупные в мире месторождения угля - Тунгусское (2300 млрд.т - свыше 15 % от мировых запасов) и Ленское (1800 млрд.т - почти 13 % от мировых запасов).

Среднее содержание различных элементов в каменном угле показано на рис. 3 [5].



Рис.3. Примерный химический состав каменного угля

Добыча угля ведется шахтным методом (глубиной от сотен метров до нескольких километров) или в виде открытых карьерных разработок. Уже на этапе добычи и транспортировки угля, применяя передовые технологии, можно добиться уменьшения потерь на транспорте, уменьшения зольности и влажности отгружаемого угля.

Нефть. Мировые геологические запасы нефти оцениваются в 200 млрд.т, из которых 53 млрд.т составляют достоверные запасы. Более половины всех достоверных запасов нефти расположено в странах Среднего и Ближнего Востока. В странах Западной Европы, где имеются высокоразвитые производства, сосредоточены относительно небольшие запасы нефти (табл. 1) [5].

Таблица 1 *Мировые запасы нефти*

Страна	Запасы, % от достоверных мировых запасов нефти
США	9,8
Страны Латинской Америки и района Карибского моря	7,0
Канада	2,1
Западная Европа	0,5
Африка	8,1
Страны Ближнего и Среднего Востока	60,9

Разведанные запасы нефти все время увеличиваются. Прирост происходит в основном за счет морских шельфов. Поэтому все имеющиеся в литературе оценки запасов нефти являются условными и характеризуют только порядок величин.

Нефть представляет собой бурую жидкость, содержащую в растворе газообразные и легколетучие углеводороды. Она имеет своеобразный смоляной запах. При перегонке нефти получают ряд продуктов, имеющих важное техническое значение: бензин, керосин, смазочные масла, а также вазелин, применяемый в медицине и парфюмерии.

Общие запасы нефти в мире ниже, чем угля. Но нефть более удобное для использования топливо, особенно в переработанном виде. После подъема через скважину нефть направляется потребителям в основном по нефтепроводам, железной дорогой или танкерами. Поэтому в себестоимости нефти существенную часть имеет транспортная составляющая.

Природный газ. Мировые геологические запасы газа оцениваются в 140-170 триллионов куб.м. Распределение запасов газа по странам и регионам приведено в табл.2 [5]. Эти цифры весьма приблизительны и изменяются по мере проведения разведывательных работ.

Таблица 2 *Мировые запасы газа*

Страна	Запасы, % от мировых достоверных запасов газа
США	27,5
Канада	4,3
Страны Латинской Америки и район Карибского моря	6,2
Страны Среднего и Ближнего Востока	20,6
Африка	15,1
Страны Дальнего Востока	2,3
СНГ и страны Западной Европы, входившие в СЭВ	14,4

Природный газ располагается в залежах, представляющих собой «купола» из водонепроницаемого слоя (типа глины), под которым в пористой среде (песчаник) под давлением находится газ, состоящий в основном из метана 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 компрессоров, установленных через каждые 100-150 м. Компрессоры вращаются газовыми турбинами, потребляющими газ. Общий расход газа на поддержание давления в газопроводе составляет 10 - 12 % от всего прокачиваемого. Поэтому транспорт газообразного топлива весьма энергозатратен.

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

Гидроэнергетические ресурсы. Гидроэнергия на Земле оценивается величиной 32 900 ТВт.ч в год. Около 25% этой энергии по техническим и экономическим условиям может использоваться для практических нужд. Эта величина примерно в 2 раза превышает современный уровень ежегодной выработки электроэнергии всеми электростанциями мира. В табл. 3 [5] содержатся данные о гидроэнергетических ресурсах в различных странах. В некоторых странах доля гидроэлектростанций в выработке электроэнергии снижается за счет освоения других наиболее эко-

номичных энергоресурсов и использования гидроэлектростанций преимущественно в пиковых режимах работы энергосистемы.

Таблица 3 Освоенность гидроэнергетических ресурсов в мире

Государства	Мощность, ГВт	
	При среднегодовых расходах воды (обеспеченность 50%)	При минимальных расходах воды (обеспеченность 95%)
СНГ	249,4	79,5
США	53,9	25
Канада	25,1	15,9
Япония	13,2	5,6
Норвегия	20,0	12,0
Швеция	8,9	2,9
Франция	5,8	3,4
Италия	5,2	2,8
Швейцария	3,8	2,4
Испания	5,0	2,9
Германия	3,7	1,5
Англия	1,2	0,6

Условное топливо. Приведенные характеристики. Экономические расчеты, сравнение показателей топливоиспользующих устройств друг с другом и планирование необходимо осуществлять на единой базе. Поэтому введено понятие так называемого *условного топлива*, теплота сгорания которого принята равной 29,35 МДж/кг (7000 ккал/кг), что соответствует хорошему малозольному сухому углю.

Часто такие характеристики топлива, как зольность и влажность или содержание серы, получаются более наглядными при их отнесении не на единицу массы топлива, а на единицу выделяющейся при сгорании теплоты. Это обусловило появление так называемых *приведенных характеристик*.

Под *приведенным* понимается содержание данного компонента в граммах, отнесенное к одному мегаджоулю теплоты, выделяющейся при сгорании топлива. Приведенная зольность, например, показывает, какое количество золы в граммах ежесекундно образуется при сжигании данного топлива в установке с тепловой мощностью 1МВт. Чаще всего используются приведенные влажность и зольность, а иногда и приведенное содержание серы.

Энергетические ресурсы мира и Беларуси

Таблица 1 Энергетические ресурсы мира (по данным департамента Франции)

Мировые ресурсы	Год истощения
Уголь - 6.641.200 млн. т	2083 – 2500 гг.
Нефть – 76.200 млн. т	2025 – 2100 гг.
Природный газ – 49.900 млрд. м ³	2010 – 2015 гг.

Уран – 761.400 т	до 2500 г., если применять реакторы-бридеры – значительно позже. Ядерный синтез с использованием дейтерия неограничен
Возобновляемые: гидроэнергия солнечная энергия ветер биомасса	Неистощаемы, но применяются крайне ограниченно

В табл. 2 и 3 представлены потенциал топливно-энергетических ресурсов и потребление котельно-печного топлива в Республике Беларусь по данным межотраслевой научно-технической программы “Энергосбережение и эффективное использование местных топливно-энергетических ресурсов до 2001 г.”.

Таблица 2

Потенциал местных топливно-энергетических ресурсов в Республике Беларусь (млн. т у.т.)

Вид источника энергии	Общий потенциал	Технически возможный потенциал
1	2	3
Нефть	525,0	100,3
Попутный газ		0,02
Торф	1760,0	124,0
Древесно-растительная масса	4,0/год	3,5/год
Отходы гидролизного производства (лигнин)	1,0	0,6
Бурый уголь	1700,0	36,3
Гидроэнергия	1,8	1,2
Энергия ветра	0,03	0,02
Энергия солнца	2,7 10 ⁸	0,6
Энергия сжатого природного газа	0,1	0,085

Таблица 3

Потребление котельно-печного топлива (млн. т у.т.)

Вид топлива	1995	1997	1999	2001
<i>Импортируемые виды топлива</i>	23,72	23,51	23,18	23,77
Газ природный	15,92	18,70	19,00	20,00
Мазут топочный	5,89	3,80	3,50	3,30
Топливо печное	0,26	0,24	0,18	0,15

бытовое				
Уголь (включая кокс)	0,90	0,65	0,45	0,30
Прочие	0,75	0,12	0,05	0,02
<i>Местные виды топлива и отходы</i>	4,2	4,39	5,41	6,23
Мазут	1,20	1,27	1,27	1,21
Дрова топливные	0,56	0,88	1,48	2,10
Газ (нефте- переработка)	0,60	0,64	0,64	0,64
Торф и торфо- брикеты	1,04	0,92	1,00	1,00
Отходы производ- ства и ВЭР	0,80	0,68	1,02	1,28
Всего котельно- печного топлива (с уче- том ВЭР)	27,92	27,80	28,59	30,00

ХАРАКТЕРИСТИКА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА БЕЛАРУСИ

Ресурсный потенциал Республики Беларусь

Анализ состояния ресурсной базы Беларуси показывает, что в республике электроэнергии вырабатывается около 3830 кВт.ч в год на каждого жителя, а потребляется – 4820 кВт.ч. Недостающая часть электроэнергии поставляется из соседних стран. Общее потребление в Беларуси составляет до 40 миллионов тонн условного топлива, или в пересчете на мазут – около 30 миллионов тонн. Собственные энергетические ресурсы республики разработаны слабо. В их число входят нефть (Речицкое месторождение – около 2 млн.т в год), торф (запасы около 260 млн.т), горючие сланцы (3-11 млрд.т) и бурый уголь (около 600 млн.т), которые практически не используются из-за их низкой калорийности (следовательно, небольшой теплотворной способности), неиспользуемые ежегодные запасы второстепенных лесных ресурсов (около 400 млн.куб.м).

Республика Беларусь обладает энергоемкими отраслями промышленности. В 1997 году суммарное потребление энергоресурсов составило 34,9 млн.т у т, в том числе [6]:

- промышленность – 13,5 млн.т у т (38,7 %);
- коммунально-бытовой сектор - 13,42 млн.т у т (38,5 %);
- сельское хозяйство - 2,94 млн.т у т (8,42 %).

Доля собственных топливно-энергетических ресурсов в общем балансе республики составила примерно 14% от валового потребления топливно-энергетических ресурсов. В объеме всего импорта республики доля энергоресурсов в денежном

выражении достигает ~60 % и составляет около 2 миллиардов долларов США, что соизмеримо с величиной годового бюджета республики.

Несмотря на достаточно высокий уровень развития энергетики Беларуси (в советское время белорусская энергосистема была оснащена передовой техникой, в ней работали высококвалифицированные кадры), республика вынуждена импортировать электроэнергию (приложение 1). Величина импорта топлива и энергии характеризуется следующими данными. В 1998 году было закуплено 12,7 млрд. кВт.ч электроэнергии, 16 млрд. куб. м газа, -42 тыс. т топочного мазута [20].

Такой дисбаланс объясняется интенсивным развитием энергоемкой промышленности (машиностроение, нефтепереработка, химия и др.), не подкрепленной соответствующим развитием энергетической базы. Рост потребления электроэнергии на душу населения в Беларуси до 1990 года был таким же, как в США, но установленная мощность электростанций возросла в 6 раз меньше, чем в США. Ранее дефицит энергии компенсировался единой энергетической системой СССР. Мощность всех электростанций Беларуси составляет 7 млн.кВт или 0,7 кВт на одного человека. Это в 5 раз меньше, чем в США, в 3 раза - чем во Франции, в 1,5 раза - чем на Украине.

Планировалось построить Минскую атомную ТЭЦ мощностью 2 млн.кВт и Белорусскую АЭС - 6 млн.кВт, но Чернобыльская катастрофа закрыла эту программу.

В приложениях 1-9 [19] показана структура и динамика производства и потребления электрической и тепловой энергии, газа, нефти и нефтепродуктов, угля и торфа. Анализируя данные приложений, можно сказать, что после распада СССР в период с 1991 по 1995 год в республике наблюдалось падение производства промышленной и сельскохозяйственной продукции, что повлекло снижение на 30-40% объемов производства и потребления электрической и тепловой энергии. Начиная с 1995 года, наблюдается неуклонный рост промышленного производства в нашей стране. Вслед за ним возрастает потребление и выработка энергии. Рост производства электрической и тепловой энергии требует, в свою очередь, все большего количества топлива. В связи с ограниченным количеством топливно-ресурсного потенциала в нашем государстве возрастают объемы его импорта. Так, например, из приложения I следует, что импорт электроэнергии с 1995 по 1998 год увеличился на 2700 млн.кВт.ч в год, газа -на 2500 млн.куб.м, дизельного топлива - на 59 тыс.т, топочного мазута — на 6 тыс.т.

Определенные надежды в свое время связывались с открытыми в республике месторождениями бурых углей и сланцев, промышленные запасы которых соответственно оцениваются в 23 и 420 млн.тонн нефтяного эквивалента, что составляет около 15 годовых потребностей республики. Однако низкая теплота сгорания и высокая зольность, большое содержание вредных примесей исключают возможность их широкого использования в большой энергетике. Применение технологий газификации и гидролиза способно повысить качество топлива из этого сырья, но это весьма энергоемкие и дорогие процессы. Возможно использование бурых углей в брикетах, особенно с торфом, в качестве коммунально-бытового топлива, что составит не более 7 % от потребности для этих целей [11].

Использование всех возможных местных видов топлива в республике в перспективе способно заменить ежегодно 2,1 - 2,3 млн. т нефти.

Эти обстоятельства делают задачу энергосбережения еще более актуальной.

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)

Согласно закону Республики Беларусь “Об энергосбережении” [1] вторичные энергетические ресурсы – энергия, получаемая в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии или в виде побочного продукта основного производства и не применяемая в этом технологическом процессе.

Необходимость использования ВЭР объясняется тем, что коэффициент полезного использования (КПИ) энергоресурсов в Республике Беларусь и странах СНГ – главный показатель эффективности производства – не достигает 40 %, что свидетельствует о существовании больших резервов экономии.

Утилизация ВЭР позволяет получить большую экономию топлива и существенно снизить капитальные затраты на создание соответствующих энергосберегающих установок [2].

Разработка методов и способов утилизации ВЭР промышленных предприятий в республиках бывшего Советского Союза началась в 30–40-х годах XX века, т. е. когда были заложены теоретические основы энергосбережения и предложены первые технические решения [3]. Наиболее значительные достижения в практике утилизации тепловых отходов народного хозяйства приходятся на послевоенные годы (конец 40-начало 50-х годов XX века).

К середине 50-х годов в транспортном и тяжелом машиностроении уровень использования ВЭР достигал уже 10–15 %. В цветной металлургии в этот период использовалось 10–25 % теплоты уходящих газов, но только до 2 % – теплоты производственных отходов и шлака и до 1 % – охлаждающей воды. В черной металлургии из возможных ВЭР в объеме до 1,5 млн.т топлива (условного) использовалось не более 300 тыс. т, т. е. около 20 %. Почти отсутствовала утилизация теплоты уходящих газов и других видов ВЭР в химической, стекольной и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности. Практически не утилизировалась низкопотенциальная теплота. В 1960– 70-х годах наблюдались быстрый рост общего уровня энергопотребления и усиление внимания к сбережению энергоресурсов. В 1965 г. по стране было реализовано около 117 млн., а в 1975 – до 625 млн. ГДж ВЭР [5].

Общий рост энергосбережения за счет утилизации тепловых отходов в эти годы можно охарактеризовать следующими данными. В 1965 г. в черной металлургии утилизировалось до 79 % возможных ВЭР, в 1970 г. – 88, 7, а в 1975 – более 96 % (на отдельных металлургических предприятиях уровень их использования приближался к 100 %). В цветной металлургии общий объем использования ВЭР в 1970 г. составлял более 19, а в 1975 г. – почти 28 %.

Значительный рост уровня использования ВЭР наметился в химической промышленности: от 51,7 в 1970 г. до 80, 5 % в 1975 г., а в нефтехимической – с 38,6 до 54,0 %. В 1975 г. фактическое использование энергии отработавшего пара в отдельных отраслях уже составляло более 50 %. Низкий уровень утилизации ВЭР отмечался: в производстве мартеновском (использование теплоты уходящих газов в 1975 г. не превышало 11 %, а теплоты испарительного охлаждения – только 27 %) и цементном (из 14,0 млн. ГДж теплоты в 1975 г. фактически было использовано не более 70 тыс. ГДж); в газовой промышленности (из 54, 5 млн. ГДж ВЭР, выработанных в 1975 г. на базе уходящих газов, получило применение лишь 4, 6 млн. ГДж).

В целом по республикам бывшего Советского Союза в 1960–70-х годах за счет использования ВЭР было сэкономлено около 20 млн. т топлива (условного) в год. Примерно на этом же уровне (около 25 млн. т топлива (условного) в год сохранилось энергосбережение за счет ВЭР и в 1970–80-х гг. В то же время общий объем энергопотребления в стране за этот период вырос в 2,4 раза (в 1960 г. выработка первичных энергоресурсов составила 707, а в 1980 г. – 1963 млн. т топлива (условного). Кроме того, за эти годы снизилась и общая экономия энергоресурсов с 270 млн. т топлива (условного) в год за 1960–70-е годы до 135 млн. т в год за 1971-й–80-е годы [5].

Таким образом, в середине 1970-х годов отчетливо наметилась негативная тенденция в энергосберегающей политике. Это было связано с временным снижением стоимости в 1960-х годах первичных энергоресурсов, что привело к массовому вовлечению в энергетический баланс страны нефти и природного газа. Начиная с конца 1970-начала 80-х годов интерес к использованию ВЭР неуклонно возрастает, поскольку возможности экономии энергоресурсов за счет снижения удельных расходов энергии на выпуск конечного продукта на современном этапе развития в значительной степени исчерпаны. В то же время по некоторым видам продукции удельная энергоемкость все еще существенно превышает уже достигнутый за рубежом уровень. В настоящее время одна из важнейших задач народного хозяйства Республики Беларусь – всемерное использование вторичных энергоресурсов. Решение этой задачи предусмотрено Государственной программой по энергосбережению Республики Беларусь [2].

Известно, что на каждом этапе технического развития существуют экономические пределы повышения КПД энергоиспользования, однако даже с их учетом резервы повышения КПИ, соответствующего современному уровню развития науки и техники, достаточно велики. Таким образом, для бережного, экономного расходования энергии требуются радикальные меры, которые в ближайшие годы обеспечили бы сведение потерь до 10 – 15 % расходуемого в народном хозяйстве РБ топлива. Известно, что тепловые электростанции расходуют примерно 25 % добываемого топлива, средний коэффициент его использования не превышает 40 %, т.е. почти 2/3 энергии сжигаемого топлива уносится с теплыми сбросными водами. Только в энергетике стран СНГ бесполезно теряется за год около 250 млн.т топлива (условного).

Подобные процессы наблюдаются в черной и цветной металлургии. На предприятиях этих отраслей промышленности затрачивается до 10 % электрической, 3,5 % тепловой энергии и около 2 % общего потребления топлива в стране, а КПИ энергоресурсов при выплавке ряда продуктов по существующей технологии весьма низок. Новейшие же технологии, которые еще находятся в стадии разработки, позволят дополнительно уменьшить расход энергоресурсов в 2-4 раза [4].

Значительны энергетические потери в других областях. В доменном производстве теряется до 15 % газа, который можно использовать как вторичное горючее. На машиностроительных предприятиях крупными потребителями топлива являются кузнечно-прессовые и термические цехи, однако КПИ здесь не превышает 0,1-0,25. На современных нефтеперерабатывающих заводах в процессе тепловой переработки затрачивается до 12 % нефти, теплота, от сжигания которой рассеивается в атмосфере, т.е. теряется безвозвратно. Велики тепловые потери и на газо-

компрессорных станциях магистральных газопроводов. В масштабах стран СНГ выход ВЭР на них составляет более 1380 млн. ГДж.

Большое количество топлива потребляет химическая промышленность, а также производство строительных материалов: цемента, керамики, кирпича, стекла, огнеупоров, железобетонных изделий и т. п., потери теплоты в которых достигают 40–50 %. Внутренние энергетические ресурсы промышленности строительных материалов равнозначны нескольким миллионам тонн топлива (условного). Значительные неиспользуемые энергоресурсы имеются также в целлюлозно-бумажной и пищевой отраслях промышленности.

Большие потери энергии наблюдаются в доменном производстве, в мартеновских печах. Низкий тепловой КПД имеет место в нагревательных и термических печах (КПД составляет 12–18 %), вагранки чугунолитейных цехов (тепловые потери с уходящими газами достигают 50–60 %), паровые котлы низкого давления (КПД 50 %), паровые котлы кузнечных цехов (КПД не превышает 2–5 %) и другое оборудование [5].

В цветной металлургии источниками ВЭР являются печи кипящего слоя, отражательные и электрические печи для плавки и переработки концентратов и руд и др. В этой отрасли промышленности к ВЭР относится физическая теплота основной продукции, побочных и промежуточных продуктов, физическая теплота охлаждения печей и теплота уходящих газов.

Значительное количество теплоты (более 70 %) рассеивается с выхлопными газами, имеющими температуру 270–400 °С, газотурбинных установок (ГТУ), на компрессорных станциях магистрального газопровода.

Теплота отработанных газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) может быть использована для отопления транспортных средств. Эти задачи усиленно решаются с помощью теплообменников на тепловых трубах (ТТТ).

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР

Применительно к ВЭР вводятся следующие термины и понятия [4].

Общие энергетические отходы – это энергетический потенциал всех материальных потоков на выходе из технологического агрегата (установки, аппарата) и все потери энергии в агрегате.

Общие энергетические отходы подразделяют на три потока:

неизбежные потери энергии в технологическом агрегате (установке);

энергетические отходы внутреннего использования – энергетические отходы, которые возвращаются обратно в технологический агрегат (установку) за счет регенерации или рециркуляции;

энергетические отходы внешнего использования – энергетические отходы, представляющие собой вторичные энергетические ресурсы.

Выход ВЭР – это масса вторичных энергоресурсов, которые образовались в данной установке за определенный период времени (час, сутки, месяц, квартал, год) и пригодны к использованию в тот же период.

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

Выработка за счет ВЭР – это количество теплоты, холода и механической работы, полученной в утилизационной установке.

Различают четыре вида выработки: возможную, т.е. максимальное количество энергии, которое можно получить при работе установки; экономически целесообразную, т.е. выработку с учетом экономических факторов (себестоимости, затрат труда и т. д.); планируемую – количество энергии, которое предполагается получить за определенный период времени при вводе утилизационных установок или модернизации имеющихся, и фактическую – количество энергии, реально полученное за определенный период.

Коэффициент использования выработки энергии за счет ВЭР – отношение фактического (планируемого) использования энергии, полученной за счет ВЭР, к фактической (планируемой) выработке.

Резерв утилизации ВЭР – количество энергии, которое может быть дополнительно вовлечено в производство.

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

Коэффициент утилизации ВЭР – отношение фактической (планируемой) экономии топлива за счет ВЭР к возможной.

Коэффициент утилизации ВЭР определяют для одного агрегата-источника ВЭР, группы агрегатов, предприятия, отрасли по каждому виду ВЭР и суммарно для всех видов ВЭР.

Для характеристики состояния использования ВЭР, пригодных для непосредственного использования без преобразования энергоносителей, применяют следующие показатели: выход ВЭР; фактическое использование ВЭР; резерв утилизации; экономия топлива за счет ВЭР (возможная, фактическая); коэффициент утилизации ВЭР.

Принципиальная схема использования энергетических ресурсов в агрегатах-источниках ВЭР и распределения энергетических потоков при утилизации ВЭР приведена на рис. 35.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВЭР

Различают ВЭР: горючие, тепловые и избыточного давления [4].

Горючие ВЭР – это горючие газы и отходы одного производства, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива в других производствах. Это доменный газ – металлургия; щепа, опилки, стружка – деревообрабатывающая промышленность; твердые, жидкие промышленные отходы в химической и нефтегазоперерабатывающей промышленности и т. д.

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

Тепловые ВЭР – это физическая теплота отходящих газов, основной и побочной продукции производства; теплота золы и шлаков; теплота горячей воды и пара, отработанных в технологических установках; теплота рабочих тел систем охлаждения технологических установок.

Тепловые ВЭР могут использоваться как непосредственно в виде теплоты, так и для отдельной или комбинированной выработки теплоты, холода, электро-

энергии в утилизационных установках. Классификация ВЭР по видам и направлениям их использования приведена в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Вид ВЭР	Носители ВЭР	Энергетический потенциал	Направление и использование способов утилизации
Горючие	Твердые, жидкие, газообразные отходы	Низшая теплота сгорания	Топливное Сжигание в топливоиспользующих установках
Тепловые	Отходящие газы, охлаждающая вода, отходы производств, промежуточные продукты, готовая продукция	Энтальпия	Тепловое Выработка в теплоутилизационных установках водяного пара, горячей воды, использование для покрытия потребности в тепле
Тепловые	Отработанный и попутный пар	То же	Тепловое и комбинированное Покрывание теплотребности, выработка электроэнергии в конденсационном или теплофикационном турбоагрегате
ВЭР избыточного давления	Газы с избыточным давлением	Работа изоэнтропно-го расширения	Электроэнергетическое Выработка электроэнергии в газовом утилизационном турбоагрегате

Температура отходящих газов различных промышленных печей и нагревательных устройств колеблется от 800–900 °С (в печах с регенераторами) до 900–1200 °С в термических, прокатных и кузнечных (без регенерации), что позволяет в котлах-утилизаторах вырабатывать пар высоких параметров для технологических и энергетических нужд. Кроме того, поскольку нагревательные печи, как правило, оборудованы системой охлаждения отдельных элементов конструкции, при испарительном охлаждении можно получить пар давлением до 4,5 МПа, который используется и в энергетических целях. Так как температура уходящих газов после котлов-утилизаторов все еще достаточно высока (около 200–250 °С), их теплоту целесообразно применять для коммунально-бытовых нужд или отопления (нагрева воды) [7].

На машиностроительных предприятиях тепловые ВЭР сравнительно высоких параметров образуются в основном в мартеновских, нагревательных и термических печах в виде теплоты уходящих газов и теплоты охлаждения установок, печей, продукции. Кроме того, низкопотенциальная теплота содержится в отработанном паре, образующемся в процессе работы прессов и молотов.

Доменные газы, имеющие теплоту сгорания около 4000 кДж/м³, относятся к горючим ВЭР, но поскольку они обладают давлением выше атмосферного (до 0,3 МПа), то могут быть использованы как ВЭР с избыточным давлением в газовой бескомпрессорной утилизационной турбине для выработки дополнительной электроэнергии или привода воздуходувок. При водяном охлаждении доменных печей и металлоконструкций можно получить значительное количество низкопотенциальной теплоты (с температурой 15–20 °С). Метод испарительного охлаждения при сокращении расхода воды и электроэнергии на ее перекачку позволяет выра-

ботать пар высокого давления (до 0,8 МПа), используемый для нужд теплоснабжения.

Температура уходящих газов воздухонагревателей доменных печей колеблется в пределах 150–600 °С, температура уходящих газов кауперов достигает 250–500 °С. Их теплота может быть использована для выработки пара, горячей воды или для подогрева доменного газа перед входом в утилизационную трубу.

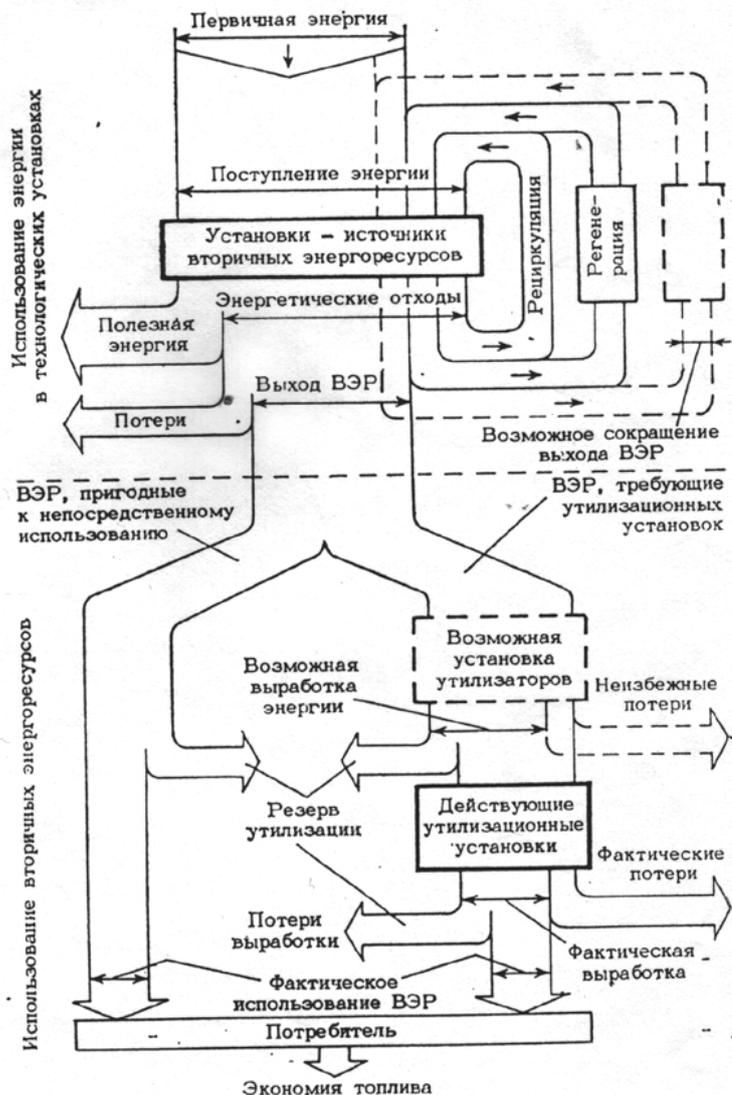


Рис 35. Принципиальная схема использования энергоресурсов при утилизации ВЭР

Перспективно использование теплоты шлаков, которые в цветной металлургии выходят с температурой до 1300 °С и уносят до 15–70 % общей теплоты. В черной металлургии значительные отходы теплоты образуются в агломератном и ферросплавном производствах (средняя температура шлаков колеблется в пределах 500–550 °С).

На предприятиях машиностроения в настоящее время тепловыми отходами являются физическая теплота уходящих газов, теплота охлаждения нагревательных и термических печей и вагранок, теплота отработанного пара кузнечно-прессового оборудования.

В промышленности строительных материалов тепловые ВЭР образуются при обжиге цементного клинкера и керамических изделий, производстве стекла, кирпича, извести, огнеупоров, выплавке теплоизоляционных материалов. К ним отно-

сятся физическая теплота уходящих газов различных печей (туннельных, шахтных, вращающихся) и т. д.

Крупными потребителями пара различных параметров, электроэнергии, горячей и теплой воды, а также холода являются почти все отрасли пищевой промышленности, поэтому и тепловые ВЭР предприятий пищевой промышленности также весьма разнообразны. Это прежде всего теплота отходящих горячих газов и жидкостей, жидких и твердых отходов производства, отработанного пара силовых установок и вторичного пара, который получается при выпаривании растворов, ректификации и высушивании, тепловых установок, теплота, содержащаяся в продуктах производства. [5].

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

Источником ВЭР может быть нагретая охлаждающая вода из системы охлаждения генераторов электростанций. Значительные тепловые отходы имеются и на АЭС: теплота конденсата, теплота охлаждающих систем и других [3, 9].

Таким образом, основными источниками образования ВЭР в различных отраслях промышленности выступают технологические аппараты, как правило, недостаточно совершенные с энергетической точки зрения, поскольку современная технология допускает работу установок с низким КПД.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ВЫХОДА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР

Выход и использование ВЭР рассчитывают либо в единицу времени (1 ч) работы агрегата-источника ВЭР, либо в удельных показателях на единицу продукции (сырья) [4].

Удельный (часовой) выход ВЭР определяется произведением удельного (часового) количества энергоносителя на его энергетический потенциал.

Энергетический потенциал энергоносителей определяется :

для горячих ВЭР – низшей теплотой сгорания Q_n^p ;

для тепловых ВЭР – перепадом энтальпий $D h$;

для ВЭР избыточного давления – работой изоэнтропного расширения e .

В качестве единиц измерения потенциала приняты единицы измерения энергии (кДж, кВт).

Единицами измерения количества энергоносителя служат единицы массы (кг, т); для газообразных теплоносителей – единицы объема (m^3 при нормальных физических условиях, $P = 760$ мм. рт. ст и $t = 0$ ° С).

Удельный общий выход ВЭР определяется по следующим формулам:

для горючих ВЭР

$$q^2 = m Q_n^p, \text{ кДж/ч;}$$

для тепловых ВЭР

$$q^m = m c (t - t_0) = m D h, \text{ кДж/ч};$$

для ВЭР избыточного давления

$$q^u = m e, \text{ кДж/ч}.$$

Общий объем выхода ВЭР

$$Q_{\text{вых}} = q M$$

или

$$Q_{\text{вых}} = q_{\text{час}} t .$$

Здесь m - удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, $\text{кг}(\text{м}^3)/\text{ч}$;

$D h$ – располагаемый перепад энтальпий энергоносителя, кДж/кг ;

e – работа изобарного расширения, кДж/кг ;

$Q_{\text{вых}}$ – общий объем выхода ВЭР за рассматриваемый период, кДж ;

M – выход основной продукции или расход сырья (топлива) за рассматриваемый период;

t – число часов работы установки - источника ВЭР за указанный период;

q – удельный выход ВЭР.

Иногда в практических расчетах удельный и общий объем выхода ВЭР относят не к единице времени, а к единице продукции, т. е. имеет место размерность кДж/ед. продукции .

Низшую теплоту сгорания горючих ВЭР Q_n^p определяют экспериментальным путем или по известным в теплотехнике формулам в зависимости от элементарного состава.

Перепад энтальпий $D h$ для тепловых ВЭР определяется в зависимости от температуры энергоносителя на выходе из агрегата (источника ВЭР), а также от температуры окружающей среды.

В расчетах ВЭР обычно определяют средний выход ВЭР для установившегося технологического режима.

Выход ВЭР за рассматриваемый период времени (сутки, месяц, квартал, год) определяют исходя из удельного или часового выхода, по формуле

$$Q_{\text{вых}} = q P 10^{-6}, \text{ ГДж},$$

или

$$Q_{\text{вых}} = q_{\text{ч}} t 10^{-6}, \text{ ГДж},$$

где q – удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции ;

P – выпуск основной продукции (расход сырья, топлива), к которой отнесен удельный выход ВЭР, за рассматриваемый период, ед. продукции ;

$q_{\text{ч}}$ – часовой выход ВЭР, кДж/ч ;

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР

Экономия топлива в целом зависит от направления использования ВЭР и схемы энергоснабжения предприятия, на котором они используются [4].

Различают направления: тепловое, электроэнергетическое, комбинированное и топливное. (рис. 36).

При тепловом направлении использования и отдельной схеме энергоснабжения предприятия экономию топлива определяют по формуле

$$B_{\text{эк}} = b_3 Q_u = b_3 Q_m s, \text{ т у.т.}, \quad (1)$$

где Q_u – использование тепловых ВЭР, ГДж (Гкал);

Q_m – выработка тепловой энергии за счет ВЭР в утилизационной установке, ГДж (Гкал);

s – коэффициент использования тепловой энергии, выработанной за счет ВЭР;

b_3 – удельный расход топлива на выработку теплоэнергии в замещаемой котельной установке, т у.т./ГДж (Гкал).

При использовании ВЭР для получения холода в абсорбционных холодильных установках экономия топлива может быть определена по формуле, где вместо Q_u количество выработанного холода Q_x , деленное на холодильный коэффициент, т.е.

$$B_{\text{эк}} = b_3 Q_x / e, \text{ т у.т.}$$

При электроэнергетическом направлении использования ВЭР экономия топлива равна

$$B_{\text{эк}} = b_3 W, \text{ т у.т.}$$

При топливном направлении использования горючих ВЭР экономия топлива определяется из выражения

$$B_{\text{эк}} = B_u h_{\text{ВЭР}} / h_m, \text{ т у.т.}$$

Здесь B_u – величина использования горючих ВЭР, т у.т.;

$h_{\text{ВЭР}}$ – КПД топливоиспользующего агрегата при работе на горючих ВЭР;

h_m – КПД того же агрегата при работе на первичном топливе.

Исходя из расчетов экономии топлива за счет использования ВЭР определяют коэффициент утилизации ВЭР, характеризующий степень использования отдельных видов ВЭР на предприятии, по городу, области, отрасли промышленности и т.д.

Обобщенная схема расчетов экономии топлива при использовании ВЭР представлена на рис. 2.

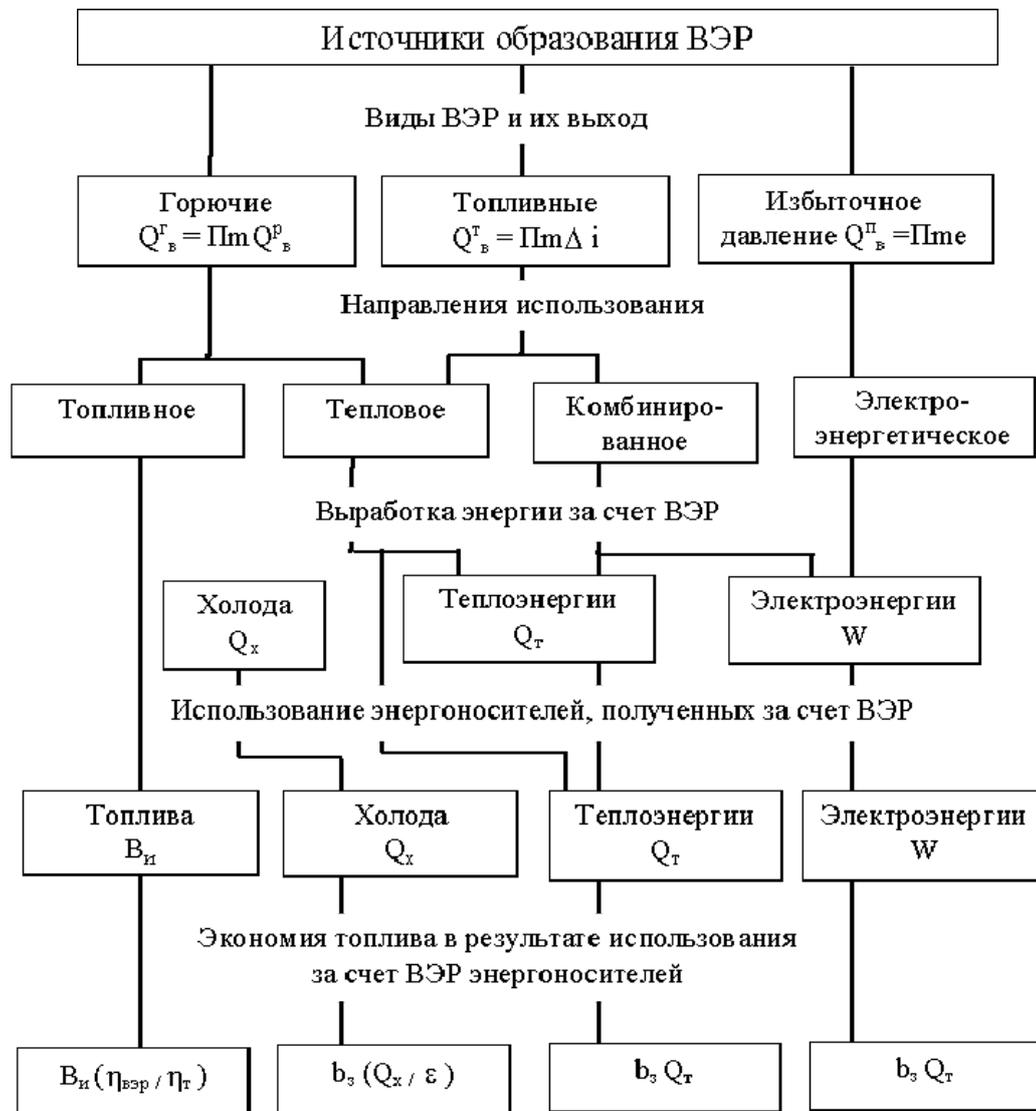


Рис.36. Схема расчета экономии топлива за счет использования вторичных энергоресурсов

ЛЕКЦИЯ 2. Способы получения и использования энергии. Типы электростанций. Совместное использование электрической и тепловой энергии.

Одним из наиболее совершенных видов энергии является *электроэнергия*. Ее широкое использование обусловлено следующими факторами:

- возможностью выработки электроэнергии в больших количествах при близости к месторождениям и водным источникам;
- возможностью транспортировки на дальние расстояния с относительно небольшими потерями;
- возможностью трансформации электроэнергии в другие виды энергии: механическую, химическую, тепловую, световую;
- отсутствием загрязнения окружающей среды;

- возможностью применения на основе электроэнергии принципиально новых прогрессивных технологических процессов с высокой степенью автоматизации.

Тепловая энергия широко используется на современных производствах и в быту в виде энергии пара, горячей воды, продуктов сгорания топлива.

Электрическая и тепловая энергия производится на:

1. тепловых электрических станциях на органическом топливе (ТЭС) с использованием в турбинах водяного пара (паротурбинные установки - ПТУ); продуктов сгорания (газотурбинные установки - ГТУ); их комбинации (парогазовые установки - ПГУ);
2. гидравлических электрических станциях (ГЭС), использующих энергию падающего потока воды, течения, прилива;
3. атомных электрических станциях (АЭС), использующих энергию ядерного распада.

Тепловые электрические станции (ТЭС) можно разделить на конденсационные электрические станции (КЭС), производящие только электроэнергию (они называются также ГРЭС - государственные районные электростанции), и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) - электрические станции с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии.

Производство электроэнергии на ТЭС

Рассмотрим схему производства электрической энергии на ТЭС, работающей на твердом топливе (рис. 1).

Современные тепловые электрические станции имеют преимущественно блочную структуру. ТЭС с блочной структурой составляется из отдельных энергоблоков. В состав каждого энергоблока входят основные агрегаты – турбинный и котельный и связанное с ними непосредственно вспомогательное оборудование. Турбина вместе с котлом, питающим ее паром, образует моноблок.

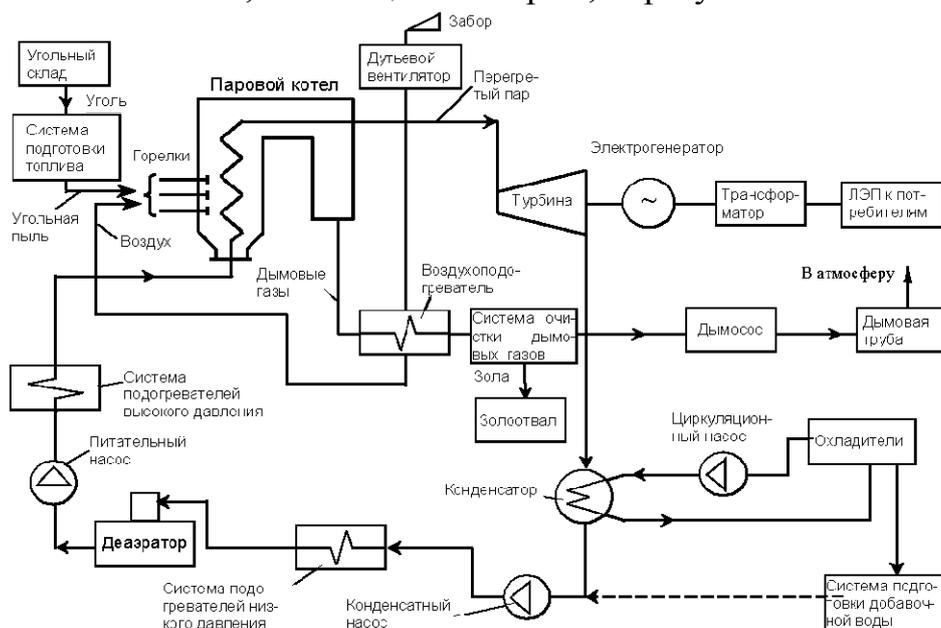


Рис. 1

Уголь поступает со склада в систему подготовки топлива, в которой дробится, подсушивается и размалывается, превращаясь в угольную пыль. В таком

виде топлива поступает в горелки, в которых смешивается с подогретым воздухом, подаваемым дутьевым вентилятором из атмосферы. Если используется жидкое топливо (мазут), то оно подогревается до 100-140 °С и распыляется в форсунках. Забор воздуха производится зимой снаружи, а летом – из верхней части помещения котельного цеха.

Устройства для предварительного подогрева воздуха называются калориферами. Здесь температура воздуха достигает 70-80 °С. Воздух, необходимый для поддержания процесса горения, подогревается далее в воздухоподогревателе за счет теплоты дымовых газов, образующихся при сгорании топлива до 250-400 °С в зависимости от вида топлива и режима горения.

Топливо сгорает в топочной камере парового котла с выделением теплоты. Эта теплота передается рабочему телу — воде, превращая ее сначала в насыщенный пар (пар, имеющий температуру кипящей жидкости, из которой он получен), а затем в перегретый (имеющий температуру более высокую, чем температура кипения жидкости при данном давлении) и обладающий большой энергией.

Паровой котел представляет собой систему теплообменников (поверхностей нагрева), в которых производится в требуемом количестве пар заданных параметров из непрерывно поступающей воды за счет теплоты, получаемой при сжигании органического топлива. Поступающая в котел вода называется питательной водой. Подогрев питательной воды до температуры насыщения (кипения) происходит в экономайзере, процесс парообразования — в испарительной (парообразующей) поверхности нагрева, перегрев пара — в пароперегревателе.

Температура в зоне активного горения в топочной камере может достигать 1500-1800 °С в зависимости от вида сжигаемого топлива и режима горения. Средняя температура продуктов сгорания в топочной камере составляет 1300-1400 °С. Покидают топочную камеру газы с температурой 900-1200 °С. Пройдя через перегреватели, газы охлаждаются до 800-900 °С (после ширмового пароперегревателя) и далее до 500-600 °С после конвективного и промежуточного пароперегревателей.

Современные энергетические котлы высокого давления производят пар давлением 10 и 14 МПа с температурой 540 °С и 560 °С, а котлы сверхкритического давления - пар с давлением 25,5 МПа с температурой 545 °С.

Паропроизводительность котла определяется количеством пара, вырабатываемого паровым котлом в единицу времени (т/час). Современные паровые котлы имеют широкий диапазон паропроизводительности от 120 до 3950 т/час. Так, для энергоблоков мощностью 300, 500, 800 МВт применяются котлы паропроизводительностью 950, 1650, 2650 т/час соответственно. В блоке мощностью 1200 МВт работает котел паропроизводительностью 3950 т/час. В Беларуси в настоящее время максимальная мощность энергоблоков составляет 300 МВт. Габариты таких котлов (950 т/час): ширина 19–24 м, глубина 24–36 м, высота 42–63 м.

Энергия пара приводит во вращение ротор паровой турбины. Турбина представляет собой ротационный тепловой двигатель лопаточного типа. Струя рабочего тела поступает через направляющие аппараты - сопла на криволинейные лопатки, закрепленные на окружности рабочего колеса, и, поворачиваясь, выходит из них. За счет поворота потока возникает окружная сила, создающая крутящий момент, приводящий во вращение рабочее колесо, закрепленное на валу. В процессе расширения рабочего тела (пара) в соплах потенциальная энергия переходит в кинетическую, что сопровождается увеличением скорости потока. Расширяясь в сту-

пенях турбины, пар совершает работу. Механическая энергия вращения вала турбины передается электрогенератору, вырабатывающему электроэнергию, которая после повышения напряжения в трансформаторе направляется по линиям электропередачи к потребителю.

Продукты сгорания топлива, пройдя через газовый тракт котла (перед экономайзером температура газов составляет 500-600 °С, перед воздухоподогревателем - температура 300-450 °С) и отдав свою теплоту поверхностям нагрева котла (за воздухоподогревателем газы имеют температуру 110-160 °С), поступают в систему очистки дымовых газов (золоуловители), а затем дымососом подаются в дымовую трубу и далее рассеиваются в атмосфере. Зола, уловленная в системе очистки, вместе со шлаком, образующимся в топочной камере, направляется на золоотвал. Часть золы выпадает в нижнюю часть топки в виде шлака. Удаление уловленной золы и шлака производится непрерывно или периодически устройствами систем золоудаления и шлакоудаления.

Отработавший в турбине пар подается в конденсатор, где конденсируется, отдавая тепло охлаждающей воде, перекачиваемой циркуляционным насосом из охладителей, в качестве которых служат градирни, пруды-охладители или естественные водоемы – озера, реки, водохранилища.

Конденсатор - теплообменный аппарат, предназначенный для превращения отработавшего в турбине пара в жидкое состояние - конденсат. Конденсация пара происходит в результате соприкосновения его с поверхностью тела, имеющего более низкую температуру, чем температура насыщения пара при давлении в конденсаторе. Конденсация пара сопровождается выделением теплоты, затраченной ранее на испарение жидкости, которая отводится с охлаждающей водой. Пар, поступающий из турбины, конденсируется на поверхности конденсаторных трубок, внутри которых протекает охлаждающая вода. Образующийся конденсат стекает в нижнюю часть конденсатора. За счет резкого уменьшения удельного объема пара создается низкое давление отработавшего пара (вакуум). Чем ниже температура охлаждающей воды и чем больше ее расход, тем более глубокий вакуум можно получить в конденсаторе. Обычно давление в конденсаторе составляет 0,004 МПа.

Образующийся конденсат откачивается из конденсатора конденсатным насосом и поступает в систему подогревателей низкого давления, где подогревается паром, отбираемым из турбины, затем в деаэратор, в котором освобождается от содержащихся газов – кислорода, углекислого и некоторых других газов, и дополнительно подогревается отборным паром, и наконец деаэрированная вода питательным насосом подается в систему подогревателей высокого давления, после подогрева в которых паром высокого давления из отборов турбины поступает в котел.

В результате цикл замыкается. Потери рабочего тела в цикле компенсируются очищенной в системе водоподготовки добавочной водой.

Основным показателем энергетической эффективности электростанции является коэффициент полезного действия (КПД) по отпуску электрической энергии, называемый *абсолютным электрическим коэффициентом полезного действия электростанции*. Он определяется отношением отпущенной (выработанной) электроэнергии к затраченной энергии (теплоте сожженного топлива). Он составляет 35-40 %.

Теплоэлектростанции

Теплоэлектростанции (ТЭЦ) отпускают электроэнергию потребителю, так же как и КЭС, и кроме этого тепловую энергию в виде пара и горячей воды для технологических нужд производства и горячей воды для коммунально-бытового потребления (отопление, горячее водоснабжение). При такой комбинированной выработке тепловой и электрической энергии в тепловую сеть отдается главным образом тепло отработавшего в турбинах пара (или газа), что приводит к снижению расхода топлива на 25-30 % по сравнению с отдельной выработкой электроэнергии на КЭС и теплоты в районных котельных. Поскольку для производственных и бытовых нужд требуется пар или вода в относительно широком диапазоне температур и давлений, на ТЭЦ применяются теплофикационные турбины различных типов в зависимости от характера потребления теплоты.

На рис. 2 представлена схема ТЭЦ с так называемыми турбинами с ухудшенным вакуумом. Давление в конденсаторе такой турбины поддерживается таким, чтобы температура насыщения пара была достаточно высокой для нужного нагрева охлаждающей воды в конденсаторе. Вода, нагретая в конденсаторе до необходимой температуры, направляется потребителю для отопления.

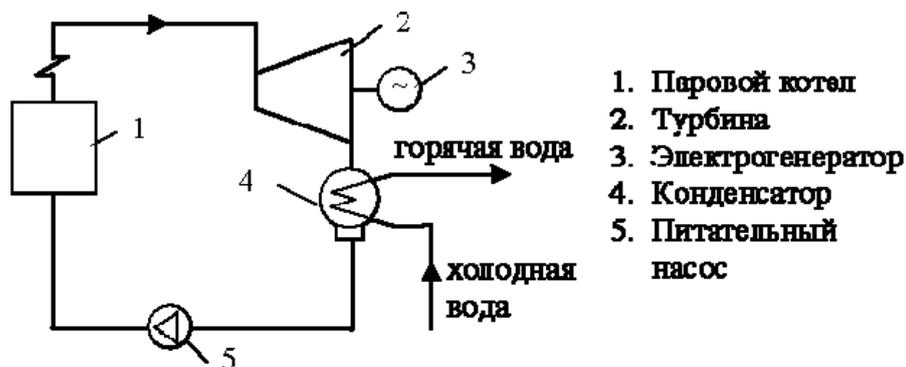


Рис. 2. ТЭЦ с турбинами с ухудшенным вакуумом

На рис. 3 изображена схема ТЭЦ, в которой применены так называемые турбины с противодавлением. В установках этого типа конденсатор отсутствует, а отработавший пар из турбины направляется по паропроводу на производство, где он отдает теплоту и конденсируется, конденсат с производства возвращается для питания котлов. Давление пара на выходе из турбины определяется потребностями производства.

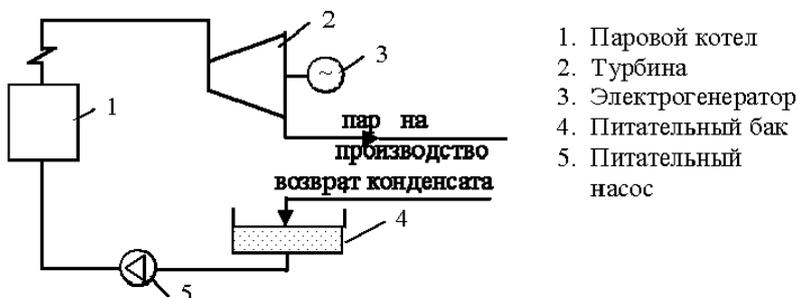


Рис. 3. ТЭЦ с турбинами с противодавлением

На рис. 4 показана схема ТЭЦ с турбинами с отбором пара. В этой схеме часть пара достаточно высоких параметров отбирается из промежуточных ступеней турбины. Отобранный пар может быть либо направлен на производство (так называемый производственный отбор), откуда в установку возвращается конденсат

(рис.4, а), либо в специальные подогреватели-теплообменники, в которых этот пар нагревает воду, используемую для отопительных целей (так называемый теплофикационный отбор) (рис.4, б). Следует заметить, что на современных ТЭЦ наиболее распространены турбины с отбором пара.

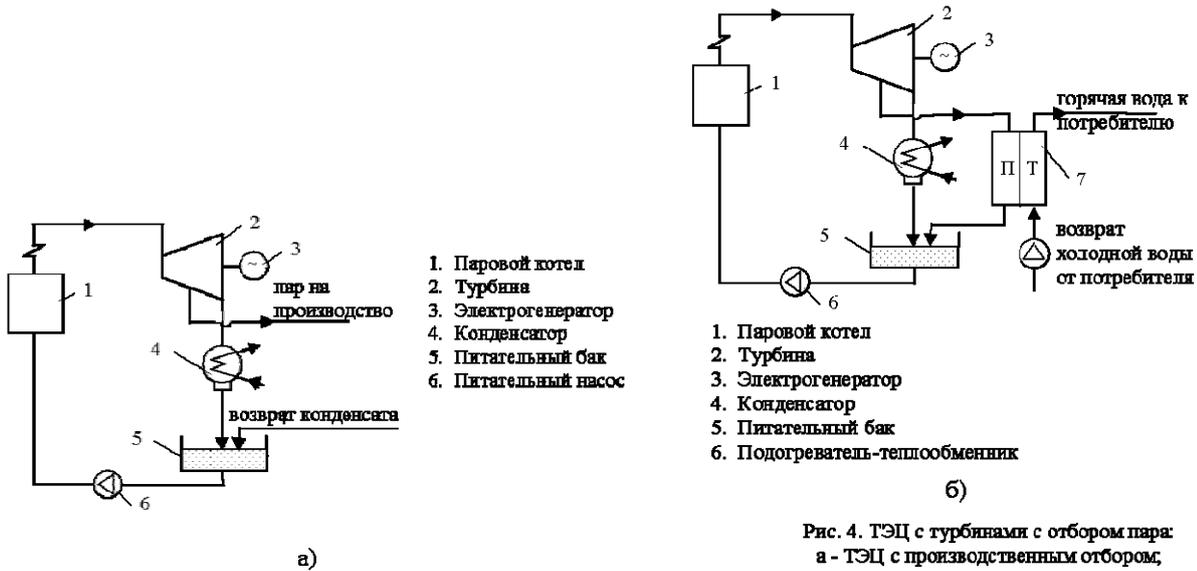


Рис. 4. ТЭЦ с турбинами с отбором пара:
а - ТЭЦ с производственным отбором;
б - ТЭЦ с теплофикационным отбором

Районные котельные

Районные котельные предназначены для централизованного теплоснабжения промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, а также для покрытия пиковых тепловых нагрузок в теплофикационных системах. Сооружение районных котельных требует меньших капиталовложений и может быть проведено в более короткие сроки, чем сооружение ТЭЦ той же тепловой мощности. Поэтому во многих случаях теплофикацию районов начинают с сооружения районных котельных. До ввода ТЭЦ в работу эти котельные являются основным источником теплоснабжения района. После ввода ТЭЦ эти котельные используются в качестве пиковых. Котельные сооружают на площадках ТЭЦ или в районах теплопотребления. В районных котельных устанавливают водогрейные котлы или паровые котлы низкого давления (1,2-2,4 МПа). При работе на газе предпочтительны водогрейные котлы, при работе на мазуте или на твердом топливе – паровые котлы низкого давления. В случае отпуска теплоты в виде пара на технологические нужды и горячей воды на теплофикацию следует сравнить между собой варианты установки в котельной как паровых, так и водогрейных котлов. При небольшом отпуске теплоты в виде пара производству и на собственные нужды котельной возможна установка комбинированных пароводогрейных котлов для покрытия преобладающей теплофикационной нагрузки. Выбор типа котлов в котельной производится на основе технико-экономических расчетов с учетом факторов надежности их работы, сложности эксплуатации, величины капиталовложений и издержек производства.

Атомные электрические станции

Тепловые схемы атомных электростанций зависят от типа реактора, вида теплоносителя, состава оборудования. Тепловые схемы могут быть одно-, двух- и трехконтурными.

В одноконтурных схемах (рис.5) пар вырабатывается непосредственно в реакторе. Полученная пароводяная смесь (паросодержанием до 15 %) подается в барабан-сепаратор, отсепарированный насыщенный пар поступает в паровую турбину. Отработавший в турбине пар конденсируется, и конденсат циркуляционным насосом подается в реактор. Одноконтурная схема наиболее проста в конструктивном отношении и достаточно экономична. Однако рабочее тело на выходе из реактора становится радиоактивным, что предъявляет повышенные требования к биологической защите и затрудняет проведение контроля и ремонта оборудования.

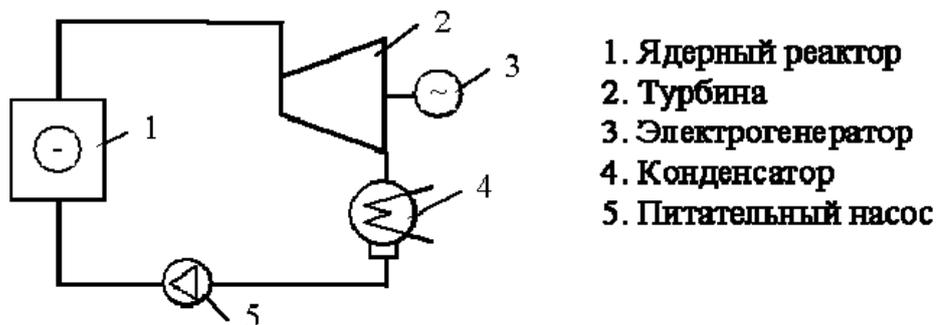


Рис. 5. Тепловая схема простейшей одноконтурной атомной электростанции (АЭС)

В двухконтурных схемах (рис. 6) существует два самостоятельных контура. Контур теплоносителя – первый; контур рабочего тела – второй. Общее оборудование обоих контуров – парогенератор. Нагретый в реакторе теплоноситель поступает в парогенератор, где отдает свою теплоту рабочему телу и при помощи главного циркуляционного насоса возвращается в реактор. В первом контуре находится компенсатор объема, который регулирует поддержание давления в контуре при изменении температуры. Давление в первом контуре значительно выше, чем во втором. Полученный в парогенераторе пар подается в турбину, совершает в ней работу, конденсируется, конденсат питательным насосом подается в парогенератор. Наличие парогенератора хотя и усложняет установку и уменьшает ее экономичность, но препятствует появлению радиоактивности во втором контуре.

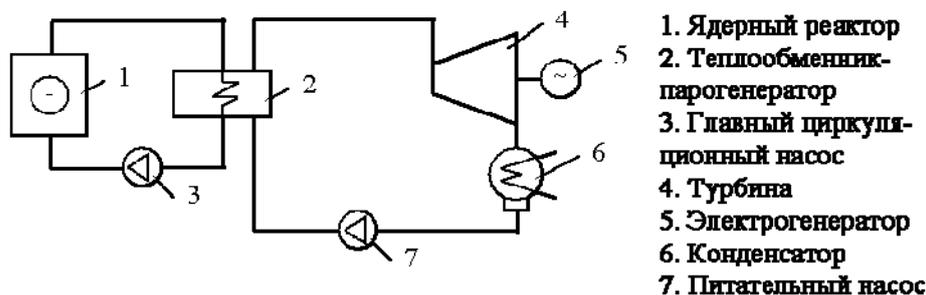


Рис. 6. Тепловая схема простейшей двухконтурной атомной электростанции

В трехконтурной схеме в качестве теплоносителей первого контура служат жидкие металлы, например, натрий. Радиоактивный натрий первого контура из реактора направляется в теплообменник, где отдает теплоту натрию промежуточного контура и циркуляционным насосом возвращается в реактор. Давление натрия в промежуточном контуре выше, чем в первом, для исключения утечек радиоактивного натрия. Натрий промежуточного контура отдает теплоту в парогенераторе рабочему телу (воде) третьего контура. Образующийся в парогенераторе пар посту-

пает в турбину, совершает работу, конденсируется и питательным насосом подается в парогенератор.

Трехконтурная схема требует больших затрат, но обеспечивает безопасную эксплуатацию реактора.

Работа АЭС по технологическим условиям отличается от работы тепловой электростанции. Основным различием является то, что роль источника теплоты на тепловой электростанции играет паровой котел, в котором сжигается органическое топливо, а на АЭС – ядерный реактор, теплота в котором выделяется в результате деления ядерного топлива. Ядерное топливо обладает высокой теплотворной способностью (в миллионы раз выше, чем органическое). В одном грамме урана содержится $2,6 \cdot 10^{21}$ ядер, при делении всех этих ядер выделяется энергия, равная 2000 кВт.ч. Для получения такого количества энергии нужно сжечь более 2000 кг угля. В связи с этим при эксплуатации АЭС расходы по доставке и транспортировке топлива сведены к минимуму. Однако при эксплуатации АЭС в процессе работы ядерного реактора образуется большое количество радиоактивных веществ в топливе, конструкционных материалах, теплоносителе. Поэтому АЭС является потенциальным источником радиационной опасности для обслуживающего персонала, а также окружающего населения, что повышает требования к надежности и безопасности эксплуатации АЭС.

Газотурбинные установки

Всякий тепловой двигатель предназначен для превращения теплоты в механическую работу. Наиболее распространенные в технике тепловые двигатели разделяются по способу подвода теплоты (сжигания топлива) на двигатели внутреннего сгорания и двигатели внешнего сгорания.

В двигателях внешнего сгорания топливо сжигается вне теплового двигателя в специальных устройствах (паровом котле), а превращение теплоты пара в работу происходит в паровой турбине.

В двигателях внутреннего сгорания рабочими телами являются газообразные продукты сгорания топлива.

К двигателям внутреннего сгорания относятся газовые турбины и поршневые двигатели внутреннего сгорания.

Газотурбинные установки достаточно компактны, маневренны, используются в теплоэнергетике как пиковые и резервные установки.

Принципиальная схема ГТУ с подводом тепла при постоянном давлении изображена на рис. 7.

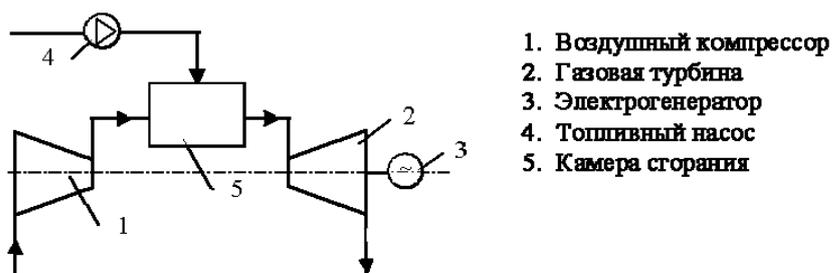


Рис. 7. Схема ГТУ с подводом тепла при $p = \text{const}$

Воздушный компрессор сжимает воздух адиабатно (без подвода теплоты), повышая его давление и температуру, и подает его в камеру сгорания, в которую

топливный насос дозированно впрыскивает горючее. В камере сгорания осуществляется подвод теплоты при постоянном давлении (сжигание топлива), температура при этом растет. Образующиеся продукты сгорания топлива подаются в газовую турбину. В газовой турбине продукты сгорания расширяются адиабатно (без подвода теплоты) и совершают техническую работу. При этом давление и температура падают. Далее продукты сгорания выбрасываются в атмосферу. Значительная часть технической работы газовой турбины (примерно $2/3$) расходуется на привод компрессора, расположенного на том же валу. Остальная часть технической работы (полезная работа) идет на выработку электроэнергии в электрогенераторе. Температура газов перед турбиной $800-900\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а для авиационных турбин до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$), поэтому необходимо использование жаропрочных материалов.

Парогазовые установки

Поскольку в газовом цикле ГТУ температура газов перед турбиной составляет $800-900\text{ }^{\circ}\text{C}$, а после турбины примерно $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в цикле паросиловой установки температура перегретого пара перед турбиной $540-565\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура воды в конденсаторе $25-28\text{ }^{\circ}\text{C}$, видно существенное различие в температурном уровне рабочих температур рассмотренных циклов. Термический КПД идеального цикла Карно тем выше, чем выше температура подвода тепла и чем ниже температура отвода тепла. Для повышения эффективности предлагается комбинированный цикл, в котором работают два рабочих тела (бинарный цикл), - газ – в верхней части цикла, пар – в нижней. Такой цикл называется циклом парогазовой установки (рис. 8).

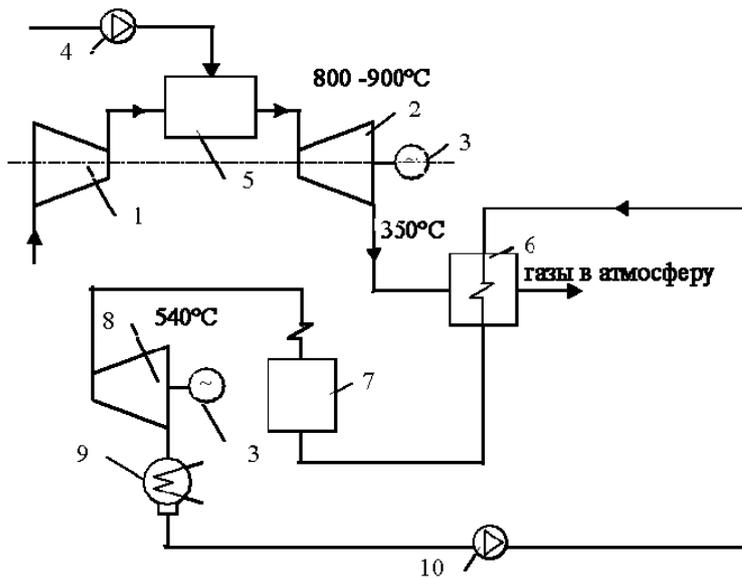


Рис. 8 Схема парогазовой установки

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. Воздушный компрессор | 6. Подогреватель |
| 2. Газовая турбина | 7. Котел |
| 3. Электрогенератор | 8. Паровая турбина |
| 4. Топливный насос | 9. Конденсатор |
| 5. Камера сгорания | 10. Питательный насос |

Воздух из атмосферы поступает в компрессор 1, где сжимается адиабатно с повышением температуры, и подается в камеру сгорания 5, куда при помощи топливного насоса 4 впрыскивается топливо. В камере сгорания 5 при постоянном давлении происходит горение топлива (подвод теплоты), образовавшиеся в резуль-

тате горения газы поступают в газовую турбину 2, где, расширяясь адиабатно на лопатках турбины, производят работу. Температура и давление газов падают. Отработанные горячие газы после газовой турбины с температурой 350 С поступают в подогреватель 6, где отдают часть теплоты для подогрева питательной воды, поступающей в котел 7, и, охладившись при этом, сбрасываются в атмосферу. Питательная вода воспринимает эту теплоту при постоянном давлении, что приводит к уменьшению расхода топлива при производстве пара в котле. Далее в котле из питательной воды образуется пар, перегревается и поступает в паровую турбину 8 с температурой 540 °С. В паровой турбине пар расширяется адиабатно на лопатках, производя техническую работу. Его давление и температура при этом падают. Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор 9, где конденсируется при постоянном давлении, а образовавшийся конденсат при помощи насоса 10 направляется сначала в подогреватель 6, где воспринимает тепло отработавших в газовой турбине газов, а затем в паровой котел 7. Расходы пара и газа подбираются таким образом, чтобы вода воспринимала максимальное количество теплоты газов. Термический КПД таких установок свыше 60 %.

Графики электрической и тепловой нагрузки

По форме графиков нагрузок различают пять групп: промышленная нагрузка, коммунально-бытовое потребление, электрический транспорт, уличное освещение, сельскохозяйственные нужды. Промышленная нагрузка за счет одно- и двухсменных предприятий снижается в ночное и вечернее время. Коммунально-бытовое потребление значительно в утреннее и вечернее время, вечерний пик более продолжителен. Транспортные перевозки имеют пики в утренние и вечерние часы. Уличное освещение имеет максимум в ночные часы. Сельскохозяйственные графики потребления достаточно равномерны с сезонным изменением его величины.

Суммарный график нагрузок получают путем почасового сложения нагрузок всех потребителей для типично зимних и типично летних месяцев.

Зимний график имеет 2 пика (рис. 9), летний – 3 (рис. 10), что объясняется более длинным световым днем (освещение включается после окончания работы на односменных предприятиях и снижения транспортных перевозок). Летние нагрузки меньше по абсолютной величине.

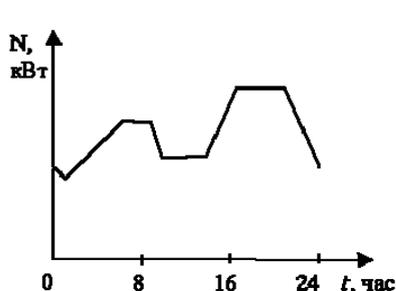


Рис.9. Суммарный график нагрузок в зимние сутки

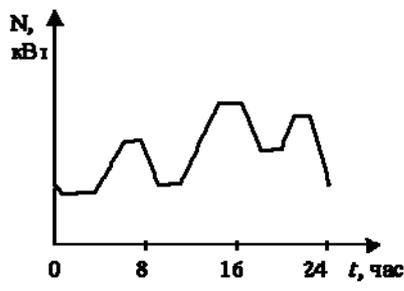


Рис.10. Суммарный график нагрузок в летние сутки

Способы покрытия пиков электрической нагрузки

В связи со значительной неравномерностью электрической нагрузки в течение суток важной задачей является рациональное покрытие относительно кратко-

временных, но значительных пиков нагрузки. По числу часов использования максимума нагрузки различают базовые, полупиковые и пиковые агрегаты. Для базовых электростанций использование максимума нагрузки составляет в год 6000–7500 часов, для полупиковых и пиковых оно составляет соответственно 2000–6000 часов и 500–2000 часов.

Поскольку существующие КЭС и ТЭЦ не в состоянии обеспечить полностью покрытие переменного графика электрической нагрузки, следует разрабатывать и вводить в действие специальные полупиковые и пиковые агрегаты.

При проектировании к базовым электростанциям предъявляется, прежде всего, требование высокой тепловой экономичности, что определяет повышенные капитальные вложения. Для ТЭС, работающих относительно небольшое число часов в году (пиковых и полупиковых), основным требованием является высокая маневренность и низкие капитальные вложения, хотя иногда это достигается за счет снижения тепловой экономичности.

Рассмотрим основные способы покрытия пиков электрической нагрузки:

1. Использование гидроэлектростанций благодаря простоте пуска, останова и изменения нагрузки является наилучшим способом.

2. Использование резерва мощности обычных паротурбинных энергоблоков, работающих в режиме частых пусков и остановов.

3. Применение высокоманевренных агрегатов, таких как пиковые и полупиковые паротурбинные, газотурбинные и парогазовые гидроаккумулирующие электростанции. Гидроаккумулирующие электростанции в период минимальных электрических нагрузок перекачивают воду из нижнего водохранилища в верхнее, потребляя энергию из сети, а в период максимальных нагрузок работают как ГЭС.

4. Использование временной перегрузки паротурбинных ТЭС за счет режимных мероприятий (изменение параметров пара перед турбиной, отключение ПВД и т.д.)

5. Аккумуляция энергии путем заполнения газохранилищ для сжатого воздуха, используемого затем в газотурбинных установках, накопление теплоты в виде горячей воды и электроэнергии в электрических аккумуляторах.

Для облегчения прохождения пиков электрической нагрузки можно использовать выравнивание графиков нагрузки, под которым понимают активное воздействие на режим потребления, приводящее к уменьшению максимумов нагрузки. Для достижения этих целей служат увеличение сменности работы предприятий при использовании поощрительных ночных тарифов на электроэнергию, создание объединенных энергосистем за счет разновременности максимума нагрузки в районах с различной географической долготой, наличие потребителей-регуляторов, часы работы которых определяет энергосистема.

Большое значение для определения режимов работы ТЭЦ и котельных при проектировании систем теплоснабжения имеет годовой график по продолжительности коммунально-бытовой нагрузки (рис. 13). Он показывает изменение теплофикационной нагрузки, включающей в себя отпуск тепла на отопление и горячее водоснабжение от ее максимального значения до минимального в течение всего года.

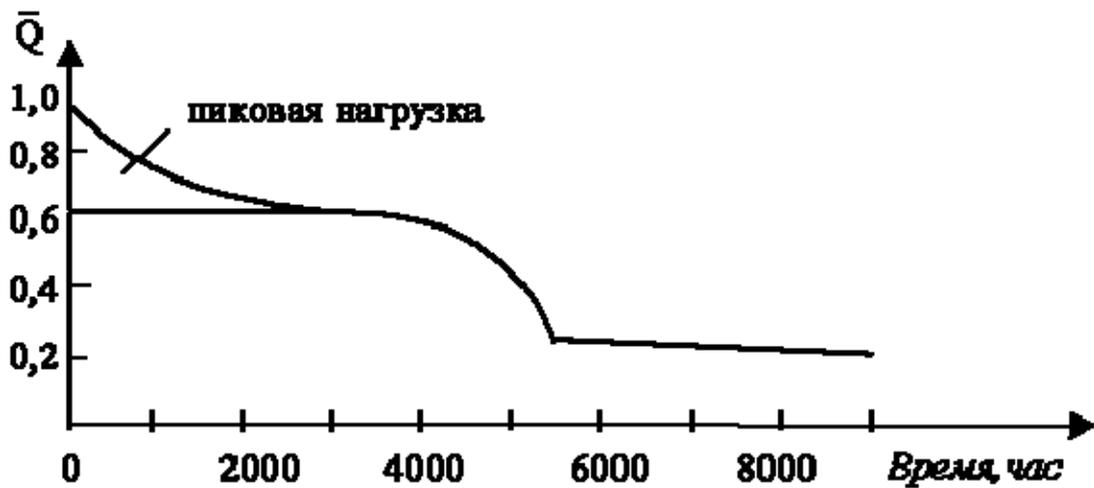


Рис.13. Годовой график по продолжительности коммунально-бытовой нагрузки

Для построения годового графика необходимо:

- знать длительность стояния различных температур наружного воздуха в отопительном периоде для данного климатического пояса, где сооружается ТЭЦ или котельная;
- определить часовой расход теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение в зависимости от температуры наружного воздуха;
- построить температурный график сети (рис. 14);
- соответственно температурному графику и продолжительности каждого расхода построить годового график отпуски теплоты.

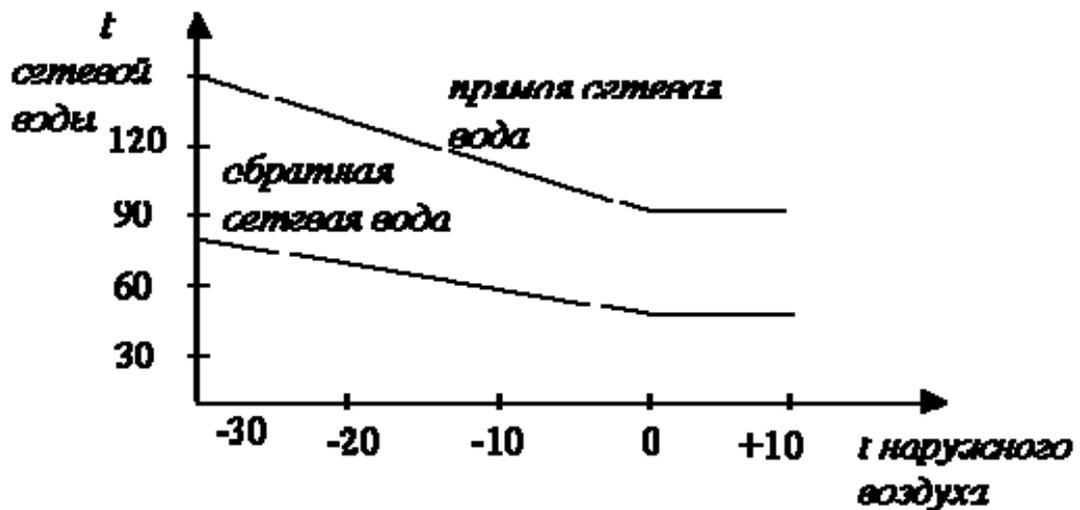


Рис.14. Температурный график сети

Возможности малой и нетрадиционной энергетики в Беларуси

Малая энергетика

Малая энергетика может существенно смягчить дефицит мощности энергосистемы и обеспечить паузу в крупных капиталовложениях для технического перевооружения и обновления существующих и строительства новых крупных электростанций. Обеспечивая выработку электроэнергии по теплофикационному циклу (выработка электрической и тепловой энергии одновременно), малые и мини-ТЭЦ обладают высокой экономичностью, быстротой сооружения, небольшими капиталовложениями, то есть всеми теми достоинствами, которые столь привлекательны для экономики переходного периода.

Основная сфера применения малых ТЭП, - это промузлы, а также средние и малые города, имеющие определенную концентрацию и продолжительность использования тепловых нагрузок, прежде всего промышленных. В ряде случаев малые теплофикационные установки могут размещаться на действующих и новых промышленных и промышленно-, отопительных котельных. Область их применения достаточно широка и охватывает практически все сферы народного хозяйства.

Согласно существующим сегодня программным документам («Основные направления энергетической политики Республики Беларусь на период до 2010г.» и «Республиканская программа по энергосбережению до 2000г.») до 2010 года установленная мощность агрегатов малой энергетики может составить порядка 600МВт (обеспечивая экономию свыше 3,5 млн.т н э в год). Возможность их установки будет определяться исключительно наличием инвестиций, так как с экономической точки зрения эти установки находятся вне конкуренции.

Потенциал *нетрадиционных энергетических ресурсов* согласно различным источникам, составляет от 6,1 до 10,4 млн. н э в год (без учета малой энергетики и вторичных энергоресурсов) [8]. К нетрадиционным энергетическим ресурсам, которые могут использоваться в Беларуси, можно отнести биомассу, ветроэнергетику, солнечную энергию, гидроэнергетику.

Биомасса

Биомасса является наиболее перспективным и значительным возобновляемым источником энергетического сырья в республике. Ее потенциал достаточно высок и составляет:

- древесное топливо, включая различного рода отходы при лесопользовании и переработке, - около 2,1 млн.т н э в год;
- отходы растениеводства (солома, костра, лизга и др.), фитомасса - по различным оценкам до 1,4 млн т н. э. в год, плюс дополнительный экологический эффект и первоклассные удобрения;
- бытовые органические отходы - порядка 330 тыс.т н. э. в год.

Таким образом, суммарная величина технически возможного потенциала (без выращивания специальных быстрорастущих сортов деревьев и высокоурожайных растений) достигает 4,93 млн.т н. э. в год. Способы энергетического использования ее (сжигание, газификация, ферментизация и т.д.) не только известны, но и технически реализованы. Вместе с тем, учитывая сложное экономическое положение республики, отсутствие необходимой инфраструктуры (от заготовки, сбора сырья до отработанной технико-технологической базы.), в качестве экономически целесо-

образной величины можно считать 2,5 млн.т н э в год в основном составляемой древесным топливом.

В Республике Беларусь ежегодно накапливается около 2,4 млн. тонн твердых бытовых отходов, которые направляются на свалки и мусороперерабатывающие заводы. На них ежегодно вывозится: бумаги – около 650 тыс. тонн, пищевых отходов – около 550 тыс. тонн, текстиля – около 70 тыс. тонн, дерева – около 54 тыс. тонн. Потенциальная энергия, заключенная в них, эквивалентна 470 тыс. тонн условного топлива. Отметим, что в мировой практике получение энергии из твердых бытовых отходов осуществляется в основном сжиганием и газификацией. В Японии, Дании и Швейцарии сжигается около 70 % их, в Германии – 30 %, Италии – 25 %, США – около 14 %.

В качестве сырья для получения жидкого и газообразного топлива в республике возможно применение биомассы быстрорастущих растений и деревьев. Для этих целей считается целесообразным использовать площади выработанных торфяных месторождений, непригодные для произрастания сельскохозяйственных культур.

Производство и использование биотоплива

Классификацию основных типов энергетических процессов, связанных с переработкой биомассы, можно представить следующим образом.

Термохимические

1. *Прямое сжигание для получения теплоты.*

2. *Пиролиз.* Биомассу нагревают либо в отсутствие воздуха, либо за счет сгорания некоторой ее части при ограниченном доступе воздуха или кислорода. Состав получающихся при этом продуктов чрезвычайно разнообразен. Здесь и газы, и жидкости, и масла, и древесный уголь. Изменение состава продуктов пиролиза зависит от температурных условий, типа вводимого в процесс сырья, способов ведения процесса. Если основным продуктом пиролиза является горючий газ, то процесс называется *газификацией*, а устройства для его получения называются *газогенераторами*.

КПД пиролиза определяется как отношение теплоты сгорания производного топлива к теплоте сгорания исходной биомассы. Достижимый КПД весьма высок: 80-90 %.

Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза, обладают несколько меньшей по сравнению с исходной биомассой суммарной энергией сгорания, но обладают большей универсальностью применения: лучшей управляемостью горением, большим удобством в обращении и транспортировке, более широким диапазоном возможных устройств - потребителей, меньшим загрязнением окружающей среды при сгорании.

3. *Гидрогенизация.* Измельченную, разложившуюся или переваренную биомассу, например, навоз, нагревают в атмосфере водорода до температуры около 600 °С при давлении около 5 МПа (50 атм). Получаемые при этом горючие газы, преимущественно метан и этан, при сжигании дают около 6 МДж на 1 кг сухого сырья.

Биохимические

1. *Анаэробная переработка.* В отсутствие кислорода некоторые микроорганизмы способны получать энергию, непосредственно перерабатывая углеродосо-

держащие составляющие, производя при этом углекислый газ CO_2 и метан CH_4 . Получаемая смесь CO_2 , CH_4 и попутных газов называется биогазом.

Получение биогаза становится экономически оправданным и предпочтительным, когда соответствующий биогазогенератор работает на переработке существующего потока отходов. Примерами подобных потоков могут служить стоки канализационных систем, животноводческие фермы и т. п. Получение биогаза возможно в установках самых разных масштабов. Оно особенно эффективно на агропромышленных комплексах, где целесообразно добиваться реализации полного экологического цикла. В таких комплексах навоз подвергают анаэробному сбраживанию. Биогаз используют для освещения, приведения в действие машин и механизмов, электрогенераторов, для обогрева. Обработанные отходы используются как высококачественные удобрения.

2. *Спиртовая ферментация.* Этиловый спирт – летучее жидкое топливо, которое можно использовать вместо бензина. Он вырабатывается микроорганизмами в процессе ферментации. Обычно для ферментации в качестве сырья используют сахара.

Агрохимические

Экстракция топлив. В некоторых случаях жидкие или твердые разновидности топлив могут быть получены прямо от животных или растений. Например, сок живых растений собирают надрезая кожуру стеблей или стволов, из свежесрезанных растений его выдавливают под прессом. Хорошо известный подобный процесс – получение каучука. Родственное каучуконосам растение герея производит углеводороды с более низкой, чем у каучука, молекулярной массой, которые могут быть использованы в качестве заменителей бензина.

Ветроэнергетика

Ветер представляет собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температуры в атмосфере из-за неравномерного нагрева ее Солнцем. **Таким образом, используемая энергия ветра является преобразованной в механическую энергией Солнца.**

Устройства, преобразующие энергию ветра в полезную механическую, электрическую или тепловую виды энергии, называются ветроэнергетическими установками (ВЭУ) или ветроустановками.

Таблица 8

Сила ветра по шкале Бофорта и ее влияние на ветроустановки и условия их работы

Баллы Бофорта	Скорость ветра, м/с	Характеристика силы ветра	Наблюдаемые эффекты действия	Воздействие ветра на ВЭУ	Условия для работы
1	0,4-1,8	Тихий	Дым из труб слегка отклоняется. На воде появляется рябь	Нет	Отсутствуют
2	1,8-3,6	Легкий	Ветер ощущается лицом, шелестят листья, на воде отчетливое волнение	Нет	Отсутствуют

3	3,6-5,8	Слабый	Колеблются листья на деревьях, развеваются легкие флаги. На отдельных волнах появляются барашки	Начинают вращаться лопасти тихоходных ВЭУ.	Плохие для всех устан
4	5,8-8,5	Умеренный	Колеблются тонкие ветки деревьев, поднимается пыль и клочки бумаги, на воде много барашков	Начинают вращаться колеса всех ВЭУ	Хорошие
5	8,5-11	Свежий	Начинают раскачиваться лиственные деревья, все волны в барашках	Мощность ВЭУ достигает 30% проектной	Очень хорошие
6	11-14	Сильный	Раскачиваются большие ветки деревьев, гудят телефонные провода, пенятся гребни волн	Мощность в расчетном диапазоне близка к максимальной	Приемлемы для проч
7	14-17	Крепкий	Все деревья раскачиваются, с гребней волн срывается пена	Максимальная мощность	Предельно допустим
8	17-21	Очень крепкий	Ломаются ветки деревьев, трудно идти против ветра, с волн срываются клочья пены	ВЭУ начинают отключаться	Недопустимые

При скорости ветра 21–34 м/с – шторм, более 34 м/с – ураган.

Энергия ветра в механических установках, например, на мельницах и в водяных насосах используется уже несколько столетий. После резкого скачка цен на нефть в 1973 году интерес к таким установкам резко возрос. Большая часть существующих ветроустановок построена в конце 70-х - начале 80-х годов XX века на современном техническом уровне при широком использовании последних достижений аэродинамики, механики, микроэлектроники для контроля и управления ими. Ветроустановки мощностью от нескольких киловатт до мегаватт производятся в Европе, США и других частях мира. Большая часть этих установок используется для производства электроэнергии как в единой энергосистеме, так и в автономных режимах.

Одно из основных условий при проектировании ветроустановок – обеспечение их защиты от разрушения очень сильными случайными порывами ветра. В каждой местности в среднем раз в 50 лет бывают ветры со скоростью, в 5–10 раз превышающей среднюю, поэтому ветроустановки приходится проектировать с большим запасом прочности. Максимальная проектная мощность ветроустановки определяется для некоторой стандартной скорости ветра, обычно принимаемой равной 12 м/с.

Скорость ветра увеличивается с высотой над поверхностью Земли. Ветроколесо должно устанавливаться достаточно высоко над местными препятствиями, чтобы набегающий на него ветровой поток был сильным, однородным и с минимальными изменениями скорости и направления.

Наилучшим местом для размещения ветроустановки является гладкая, куполообразная, ничем не затененная возвышенность. Желательно, чтобы ветроустановка в радиусе нескольких сотен метров была окружена полями или водной поверхностью. Как правило, головки ветроустановок находятся на высоте от 5 до 50 метров.

В районах с благоприятными ветровыми условиями среднегодовое производство электроэнергии ветроустановками составляет 25–35 % его максимального

проектного значения. Срок службы ветроустановок обычно не менее 15–20 лет, а их стоимость колеблется от 1000 до 1500 долларов США за 1 кВт проектной мощности. Официальные оценки возможной доли ветроэнергетики в энергетике в целом, например в Великобритании и Западной Германии, не предполагающие каких-либо серьезных изменений в сложившейся инфраструктуре энергопотребления, дают не менее 20 %. Автономные ветроустановки весьма перспективны для вытеснения дизельных электростанций и отопительных установок, работающих на нефтепродуктах, особенно в отдаленных районах и на островах.

Ветроустановки могут быть предназначены для непосредственного выполнения механической работы (например, привода водяного насоса) или для производства электроэнергии. В последнем случае они приводят в действие электрогенератор и в совокупности с ним называются ветроэлектрогенераторами.

Таблица 9

Параметры ветроэнергетических установок различной проектной мощности при скорости ветра 12 м/с

Класс ВЭУ	Расчетная (проектная) мощность, кВт	Диаметр ветроколеса, м	Период вращения, с
Малые	10 25	6,4 10	0,3 0,4
Средние	50 100 150	14 20 25	0,6 0,9 1,1
Большие	250 500 1000	32 49 64	1,4 2,1 3,1
Очень большие	2000 3000 4000	90 110 130	3,9 4,8 5,7

3.2. Принцип действия и классификация ВЭУ

Как уже было сказано, в ветроэнергетических установках энергия ветра преобразуется в механическую энергию их рабочих органов. Первичным и основным рабочим органом ВЭУ, непосредственно принимающим на себя энергию ветра и, как правило, преобразующим ее в кинетическую энергию своего вращения, является ветроколесо.

Вращение ветроколеса под действием ветра обуславливается тем, что в принципе на любое тело, обтекаемое потоком газа, действует сила F , которую можно разложить на две составляющие: 1 – вдоль скорости набегающего потока, называемую силой лобового сопротивления F_C , и 2 – в направлении, перпендикулярном скорости набегающего потока, называемую подъемной силой F_{Π} (рис.25).

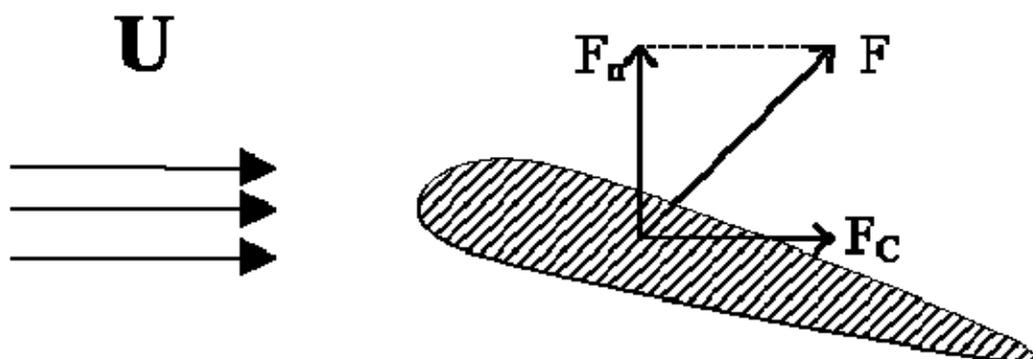


Рис. 25. Силы, действующие на тело, обтекаемое потоком газа:

U – скорость газового потока; F_C – сила лобового сопротивления;

F_{Π} – подъемная сила; F – результирующая сила

Величины этих сил зависят от формы тела, ориентации его в потоке газа и от скорости газа. Действием этих сил рабочий орган ветроустановки (ветроколесо) приводится во вращение.

Ветроустановки классифицируются по двум основным признакам: геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра (рис. 26, 27).

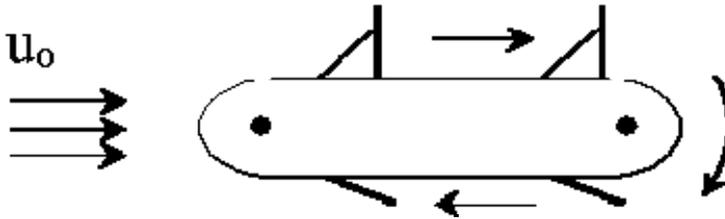


Рис. 26. Принципиальная схема ветроустановки, использующей силу лобового сопротивления и состоящей из укрепленных на перемещающемся ремне откидывающихся пластин

Если ось вращения ветроколеса параллельна воздушному потоку, то установка называется горизонтально-осевой, если перпендикулярна – вертикально-осевой.

Установки, использующие силу лобового сопротивления (драг-машины), как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра, а установки, использующие подъемную силу (лифт-машины), имеют линейную скорость концов лопастей, существенно большую скорости ветра.

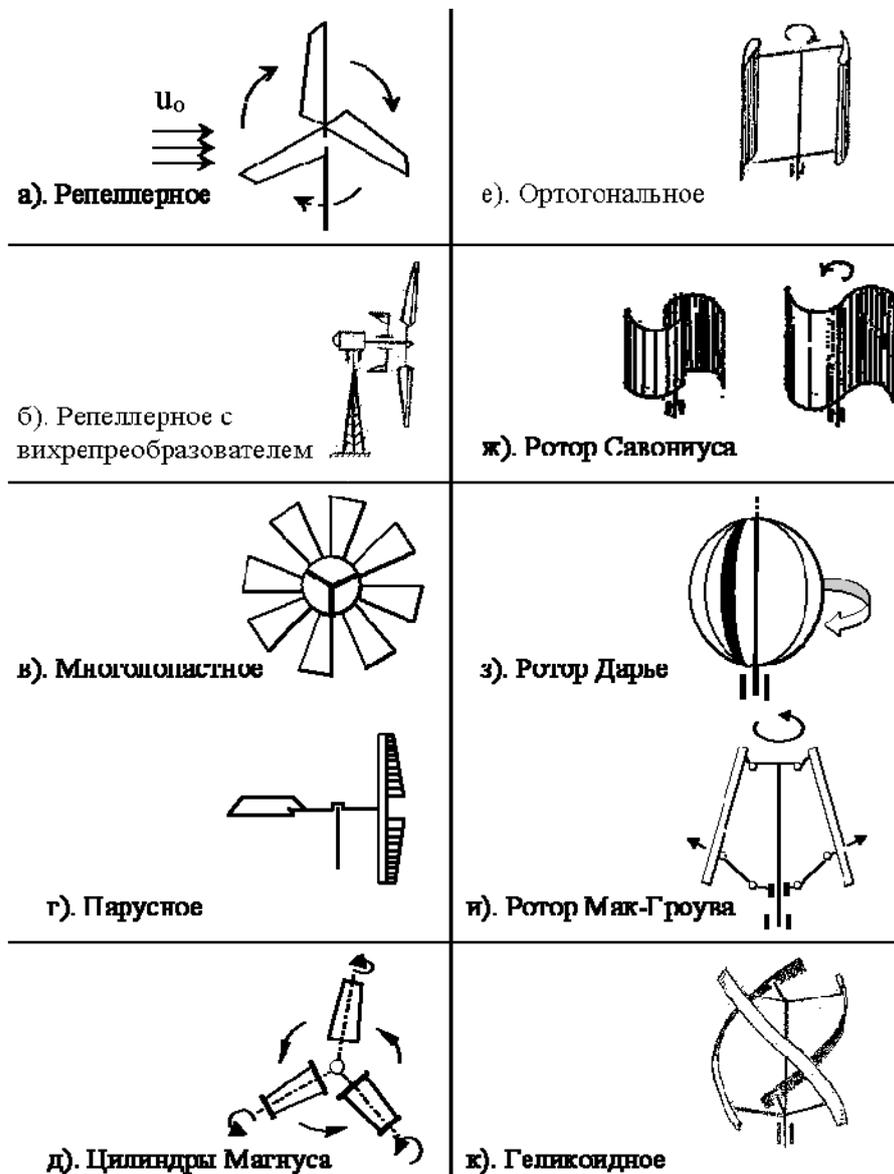


Рис. 27. Классификация ветроколес (левый столбец – ветроколеса с горизонтальной осью, правый – с вертикальной)

ВЭУ с большим геометрическим заполнением ветроколеса развивают значительную мощность при относительно слабом ветре, и максимум мощности достигается при небольших оборотах колеса. ВЭУ с малым заполнением достигают максимальной мощности при больших оборотах и дольше выходят на этот режим. Поэтому первые используются, например, в водяных насосах и даже при слабом ветре сохраняют работоспособность, а вторые – в качестве электрогенераторов, где требуется высокая частота вращения.

Производство электроэнергии с помощью ветроэнергетических установок

Использование ветроустановок для производства электроэнергии является наиболее эффективным способом утилизации энергии ветра. Предъявляемые при этом требования к частоте и напряжению вырабатываемой электроэнергии зависят от особенностей потребителей этой энергии. Эти требования жесткие при работе ветроустановок в рамках единой энергосистемы и достаточно мягкие при использовании энергии ВЭУ в осветительных и нагревательных установках.

Основными элементами ветроэлектрогенераторов являются: 1) собственно ветроустановка; 2) электрогенератор; 3) система управления параметрами генери-

руемой электроэнергии в зависимости от изменения силы ветра и скорости вращения ветроколеса; 4) так как периоды безветрия неизбежны, то для исключения перебоев в электроснабжении ВЭУ должны иметь аккумуляторы электрической энергии или быть запараллелены с электроэнергетическими установками других типов.

Одним из способов управления электроэнергией ВЭУ является выпрямление переменного тока ВЭУ и затем преобразование его в переменный ток с заданными стабилизированными параметрами.

Ветроэнергетический потенциал Республики Беларусь

Белорусская энергетическая программа до 2010 года основными направлениями использования ветроэнергетических ресурсов на ближайший период предусматривает их применение для привода насосных установок и в качестве источников энергии для электродвигателей. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями к качеству электрической энергии, что позволяет резко упростить и удешевить ветроэнергетические установки. Особенно перспективным считается их использование в сочетании с малыми гидроэлектростанциями для перекачки воды. Применение ветроэнергетических установок для водоподъема, электроподогрева воды и электроснабжения автономных потребителей к 2010 году предполагается довести до 15 МВт установленной мощности, что обеспечит экономию 9 тысяч тонн условного топлива в год.

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

Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра. По данным Государственного комитета по гидрометеорологии Республики Беларусь и НП "Ветромаш", среднегодовая скорость ветра на территории республики составляет 4,3 м/с. При этом на четверти пригодной для внедрения ветроэнергетических установок территории среднегодовая скорость ветра превышает 5 м/с. Такая скорость ветра соответствует требованиям мировой практики по показателям коммерческой целесообразности внедрения ветротехники. При правильном выборе места установки ветроагрегата (на возвышенностях открытой местности, на берегах водных массивов и т.п.) среднегодовая скорость ветра может достигать 6–7 м/с. Наиболее эффективно можно применять ВЭУ на возвышенностях большей части севера и северо-запада Беларуси и в центральной части Минской области, включая прилегающие к ней районы с запада.

Максимальный прогнозируемый ветроэнергетический ресурс территории республики составляет более 280 миллиардов кВт·часов в год. Использование только 1 % территории под ветроэнергетику уже в 2010 году позволило бы выработать около 3 миллиардов кВт· часов энергии. При условии 25 % использования годового времени на выработку такого количества энергии потребуется до 8000 ветроустановок мощностью от 100 до 500 кВт, которые позволили бы сэкономить ежегодно до 1 млн. тонн условного топлива. Окупаемость подобной ветротехники составляет около четырех лет.

Таблица 10

Ветротехнические показатели ветроагрегатов, рекомендуемых к внедрению на территории Республики Беларусь

Зональная среднегодовая скорость ветра, м/с	Диапазон рабочих скоростей ветра ВЭУ, м/с	Расчетная скорость ветра, соответствующая номинальной мощности, м/с	Ориентировочная доля использования ВЭУ, %
До 4,5	3-20	8	40
4,5-5,5	4-24	9	30
Выше 5,5	4-24	10-12	30

Солнечная энергия.

Солнце является основным источником энергии, обеспечивающим существование жизни на Земле. Вследствие реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца достигаются температуры до 10^7 К. При этом поверхность Солнца имеет температуру около 6000 К. Электромагнитным излучением солнечная энергия передается в космическом пространстве и достигает поверхности Земли. Вся поверхность Земли получает от Солнца мощность около $1, 2 \cdot 10^{17}$ Вт. Это эквивалентно тому, что менее одного часа получения этой энергии достаточно, чтобы удовлетворить энергетические нужды всего населения земного шара в течение года. Максимальная плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет примерно 1 кВт/м^2 . Для населенных районов в зависимости от места, времени суток и погоды потоки солнечной энергии меняются от 3 до 30 МДж/м^2 в день.

В среднем для создания комфортных условий жизни требуется примерно 2 кВт энергетической мощности на человека, или примерно 170 МДж энергии в день. Если принять эффективность преобразования солнечной энергии в удобную для потребления форму 10% и поток солнечной энергии 17 МДж/м^2 в день, то требуемую для одного человека энергию можно получить со 100 м^2 площади земной поверхности. При средней плотности населения в городах 500 человек на 1 км^2 на одного человека приходится 2000 м^2 земной поверхности. Таким образом, достаточно всего 5% этой площади, чтобы за счет снимаемой с нее солнечной энергии удовлетворить энергетические потребности человека.

Для характеристики солнечного излучения и взаимодействия его с веществом используются следующие основные величины.

Поток излучения – величина, равная энергии, переносимой электромагнитными волнами за одну секунду через произвольную поверхность. Измеряется в $\text{Дж/с}=\text{Вт}$.

Плотность потока излучения (энергетическая освещенность) – величина, равная отношению потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Измеряется в Вт/м^2 .

Плотность потока излучения от Солнца, падающего на перпендикулярную ему площадку вне земной атмосферы, называется **солнечной константой S**, которая равна 1367 Вт/м^2 .

Коэффициент поглощения (поглощательная способность) тела – величина, измеряемая отношением потока излучения, заключенного в узком спек-

тральном интервале частот, поглощаемого поверхностью тела, к потоку излучения, падающему на эту поверхность в том же спектральном интервале. Коэффициент поглощения зависит от температуры тела, частоты (или длины волны) излучения, а также от природы тела. Тело, для которого коэффициент поглощения равен единице, называется абсолютно черным телом. Оно поглощает все падающее на него излучение. Близкой по оптическим свойствам к черному телу является сажа.

Коэффициент отражения (отражательная способность) тела – величина, равная отношению потока излучения, отраженного поверхностью тела, к падающему на эту поверхность потоку. Для поверхностей, которые рассеивают падающее солнечное излучение, эту величину также называют *альбедо*.

Поверхность	Альбедо
Водная поверхность	0,03-0,04
Поверхность суши	0,15-0,30
Снежный покров	0,5-0,6
Поверхность Земли (среднее значение)	0,34

В связи с большим потенциалом солнечной энергии чрезвычайно заманчивым является максимально возможное непосредственное использование ее для нужд людей.

Солнечные водоподогреватели (гелиоводоподогреватели).

Преобразование солнечной энергии в тепловую обеспечивается за счет способности атомов вещества поглощать электромагнитное излучение. При этом энергия электромагнитного излучения преобразуется в кинетическую энергию атомов и молекул вещества, то есть в тепловую энергию. Результатом этого является повышение температуры тела.

Для энергетических целей наиболее распространенным является использование солнечного излучения для нагрева воды в системах отопления и горячего водоснабжения.

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 года предусматривает крупносерийное производство гелиоводоподогревательных установок, разработанных белорусскими учеными. Найденные ими удачные технические решения делают их производство более технологичным и многократно снижают их вес. К 2010 году планируется их применение, обеспечивающее эквивалентную экономию 50 тыс.т условного топлива в год.

Основным элементом солнечной нагревательной системы является приемник, в котором происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости. Наиболее распространенными являются плоские (нефокусирующие) приемники, позволяющие собирать как прямое, так и рассеянное излучение и в силу этого способные работать также и в облачную погоду. С учетом также их относительно невысокой стоимости они являются предпочтительными при нагревании жидкостей до температур ниже 100 °С.

На рис.15 представлены различные варианты приемников солнечного излучения.

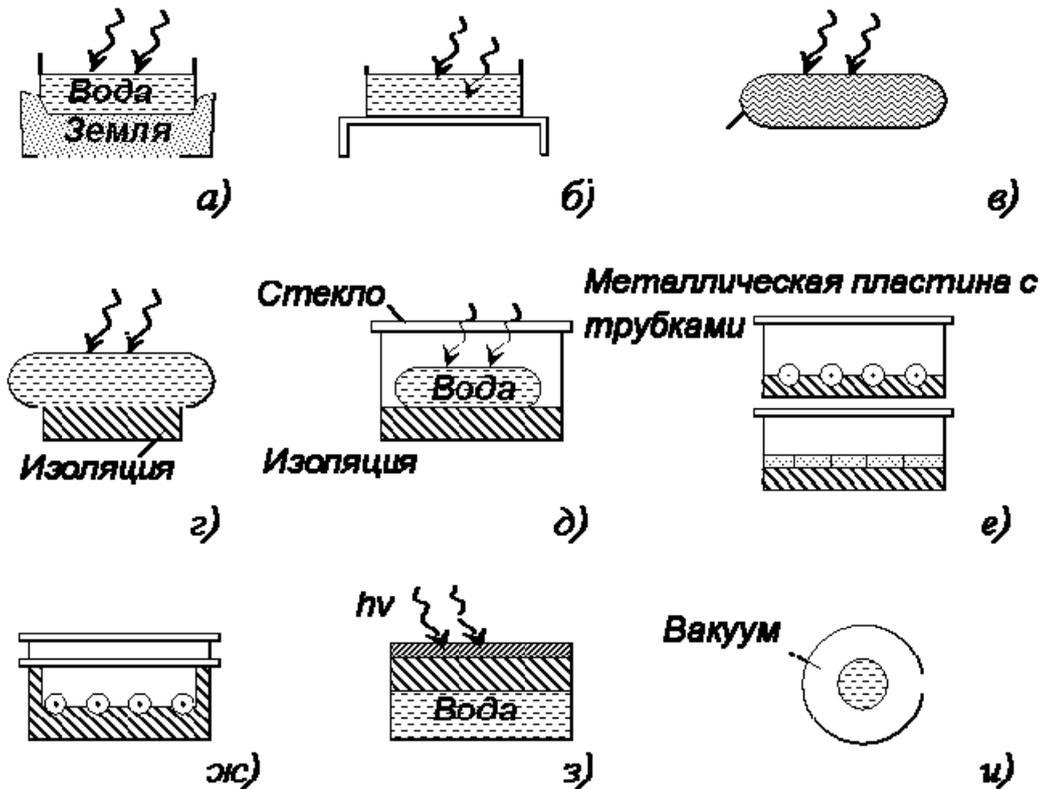


Рис. 15. Последовательность приемников солнечного излучения в порядке возрастания их эффективности и стоимости

Простые приемники (рис.1, а-д) содержат весь объем жидкости, которую необходимо нагреть.

Приемники более сложной конструкции (рис.15, е-и) нагревают за определенное время только небольшое количество жидкости, которая затем, как правило, накапливается в отдельном резервуаре, что позволяет снижать теплопотери системы в целом.

Остановимся кратко на характеристиках каждой из этих конструкций.

Рис.15,а – *открытый резервуар на поверхности земли* (например, бассейн) – простейший возможный нагреватель воды. Повышение температуры воды ограничено высоким коэффициентом отражения поверхности воды, теплоотдачей к земле и воздуху, затратой части поглощенного тепла на испарение воды.

Рис.15,б – *открытый резервуар, теплоизолированный от земли*. Повышение температуры воды ограничено высоким коэффициентом отражения поверхности воды, теплоотдачей к воздуху, затратой части поглощенного тепла на испарение воды.

Рис.15,в - *черный резервуар*. Жидкость заключена в емкости с черной матовой поверхностью, обычно располагаемой на крыше здания. Потери тепла на испарение отсутствуют, коэффициент поглощения черной поверхности близок к единице. Нагреватели этого типа достаточно недороги, просты в изготовлении и позволяют нагревать воду до температуры около 45 °С. Очень широкое распространение получили в Японии, Израиле. Параметры нагревателя ограничены тепловыми потерями с поверхности, особенно их увеличением в ветреную погоду.

Рис.15, г - *черный резервуар с теплоизолированным дном*. Потери тепла в предыдущей конструкции можно уменьшить почти в два раза, если теплоизолировать дно приемника. Для достижения этого достаточно всего нескольких сантиметров изолирующего слоя, в качестве которого можно использовать практически любой пористый материал с размером пор до 1 мм.

Рис.15, д - *закрытые черные нагреватели*. Для исключения теплоотдачи от приемника в воздух, особенно в ветреную погоду, емкость нагревателя помещается в контейнер с прозрачной для солнечного излучения крышкой. Лучшим материалом для крышек является стекло. Используются также специальные покрытия из пластика, имеющие подобные стеклу оптические свойства, но менее хрупкие.

Рис.15, е - *металлические проточные нагреватели*. В такой системе вода протекает по параллельным трубкам, закрепленным на зачерненной металлической пластине. Обычно диаметр трубок составляет около 2 см, расстояние между ними 20 см, толщина пластины 0,3 см. Пластины с трубками для защиты от ветра помещают в контейнер со стеклянной крышкой.

Характеристики проточного нагревателя могут быть улучшены за счет:

- уменьшения конвективного переноса между приемной пластиной и стеклянной крышкой, если над первой крышкой поместить еще одну дополнительную стеклянную крышку (рис.15, ж);

- уменьшения радиационных потерь от пластины, если ее поверхность делать не черной, а селективной, то есть сильно поглощающей, но слабо излучающей в определенной области спектра (рис.15, з);

- использования вакуумированных приемников, в которых заполненная жидкостью черная трубка помещается внутри наружной стеклянной трубки и в пространстве между ними создается вакуум. Вакуумирование исключает конвективный перенос тепла через наружную поверхность.

Нагретую в проточном нагревателе жидкость можно использовать сразу или запасать. Скорость прокачки выбирают такой, чтобы температура воды повышалась примерно на 4 °С при каждом проходе через нагреватель. Прокачка нагретой жидкости может осуществляться как принудительно (насосом) (рис.16), так и естественной циркуляцией (естественной конвекцией) (рис.17). В последнем случае нагреватель должен находиться ниже накопителя нагретой воды.

Системы с принудительной циркуляцией выгодны, поскольку для их создания можно использовать существующие водонагревательные системы, вводя в них приемник солнечного излучения и насос. Кроме того, в них нет необходимости располагать накопительную емкость выше приемника. Недостатком их является зависимость от электроэнергии, потребляемой насосом.

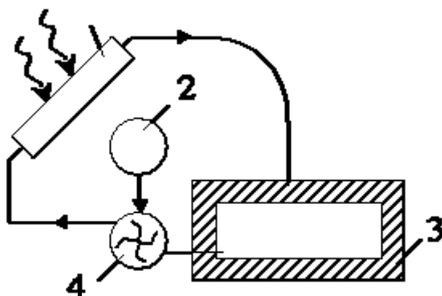


Рис16. Нагревательная система принудительной циркуляцией

1- приемник излучения; 2- регулятор; 3- изолированный накопительный резервуар; 4- насос

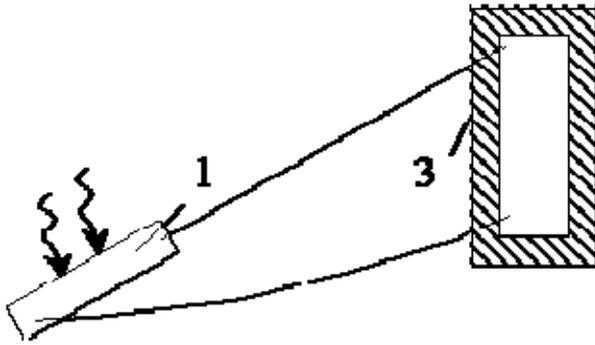


Рис17. Нагревательная система с естественной циркуляцией
1- приемник излучения; 3- изолированный накопительный резервуар

Подогреватели воздуха

Солнечное излучение можно использовать для подогрева воздуха, просушивания зерна, обогрева зданий. Эти приложения имеют важное значение для экономики. Значительная часть урожая зерна в мире теряется вследствие поражения плесневым грибом, которое можно предупредить правильным просушиванием. На обогрев зданий в странах с холодным климатом расходуется до половины энергетических ресурсов. Частичная разгрузка энергетики, связанная с проектированием или перестройкой зданий для использования солнечного тепла, позволит сэкономить значительные количества топлива, затрачиваемого ежегодно на эти цели.

Поскольку теплопроводность воздуха намного ниже, чем воды, передача энергии от приемной поверхности к теплоносителю (воздуху) происходит намного слабее. Поэтому нагреватели такого типа чаще всего изготавливают с шероховатыми (для турбулизации потока) и имеющими большую площадь приемными поверхностями (для увеличения поверхности теплообмена).

На рис.18 изображены два типа воздушных нагревателей, во втором из которых используются пористые или сетчатые приемники излучения для увеличения контактной поверхности теплообмена.

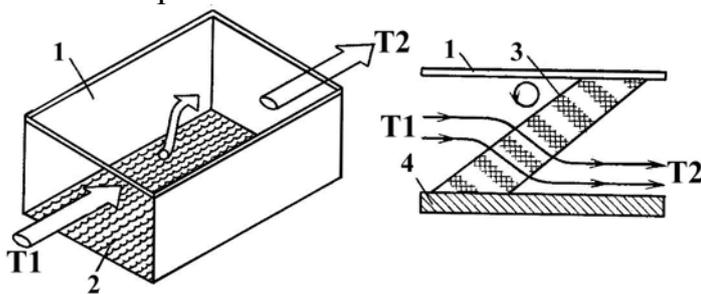


Рис. 18. Воздушные нагреватели:

1 - стеклянное покрытие; 2 - шероховатая черная поглощающая поверхность; 3 - пористая поглощающая пластина; 4 - изоляция

Концентраторы солнечной энергии (солнечные коллекторы)

Многие возможные приложения требуют более высоких температур, чем те, которые можно получить даже с помощью лучших плоских нагревателей. Для решения этих задач используются концентрирующие коллекторы, принцип действия которых изображен на рис. 5.

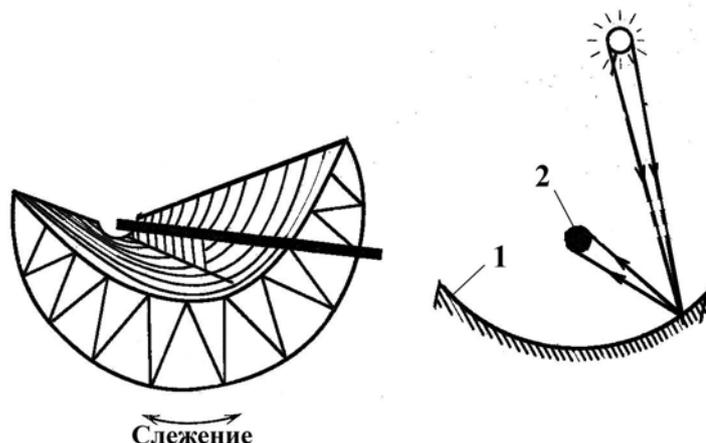


Рис. 19. Параболический концентратор: 1 - зеркало; 2 – приемник

Концентрирующий коллектор включает в себя приемник, поглощающий излучение и преобразующий его в какой-либо другой вид энергии, и концентратор, который представляет собой оптическую систему, собирающую солнечное излучение с большой поверхности и направляющую его на приемник. Обычно концентратору обеспечивается постоянное вращение, обеспечивающее его ориентацию на Солнце. Чаще всего концентратор представляет собой зеркало параболической формы, в фокусе которого располагается приемник излучения.

В качестве концентраторов солнечной энергии могут также использоваться оптические линзы. В отличие от зеркал, концентрирующих отраженное излучение, линзы концентрируют проходящее через них излучение.

Солнечные системы для получения электроэнергии (солнечные электростанции)

Концентрация солнечной энергии позволяет получать температуры до 700 °С, достаточно большие для работы теплового двигателя с приемлемым коэффициентом полезного действия. Например, параболический концентратор с диаметром зеркала 30 м позволяет сконцентрировать мощность излучения порядка 700 кВт, что дает возможность получить до 200 кВт электроэнергии. Коллектор передает солнечную энергию теплоносителю, который в этом случае может представлять собой водяной пар высокой температуры и который направляется в паровую турбину для выработки электроэнергии.

Для создания солнечных электростанций большой (порядка 10 МВт) мощности могут существовать два варианта: рассредоточенные коллекторы и системы с центральной солнечной башней.

Солнечная электростанция с рассредоточенными коллекторами изображена на рис.6 и состоит из множества небольших концентрирующих коллекторов, каждый из которых независимо следит за Солнцем. Каждый коллектор передает солнечную энергию жидкости – теплоносителю, горячая жидкость (пар) от всех коллекторов собирается в центральной энергостанции и поступает на турбину электрогенератора.

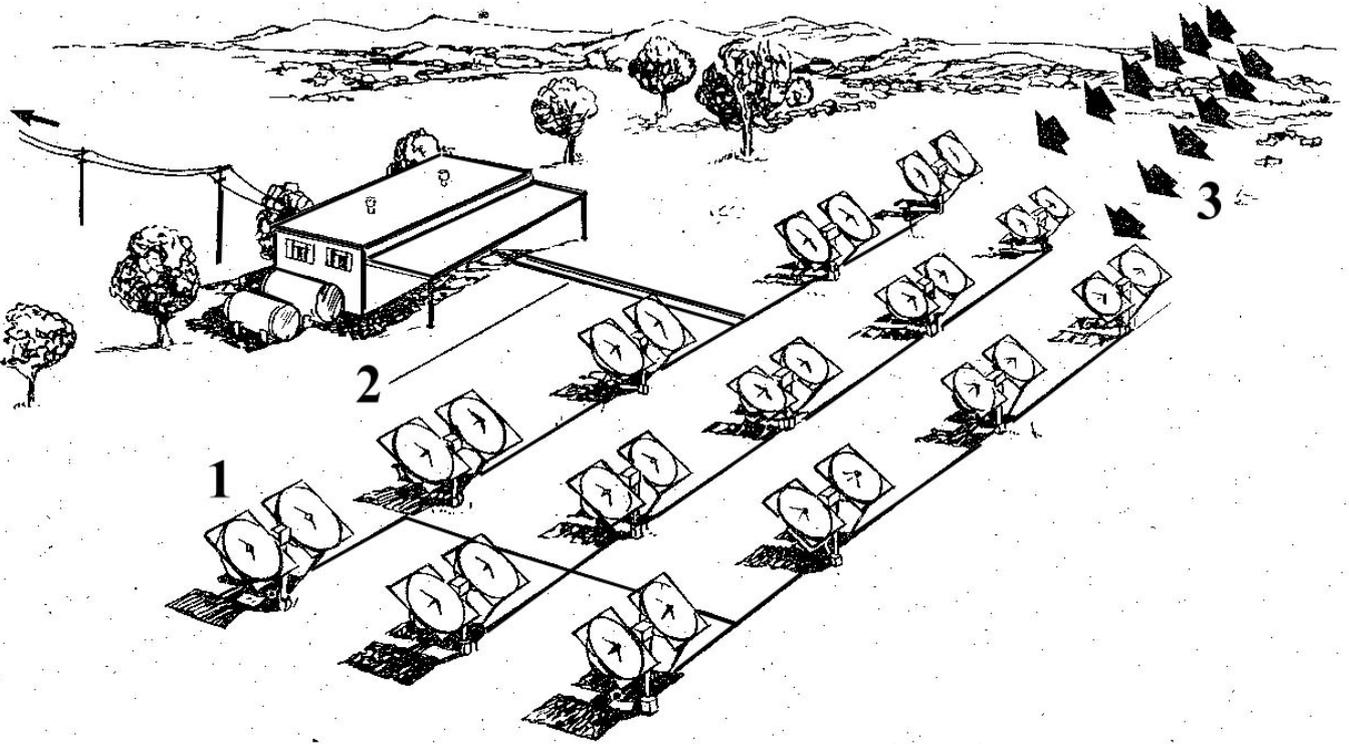


Рис. 20. Солнечная электростанция с рассредоточенными коллекторами:
1 - коллекторы; 2 - трубопроводы; 3 - солнечное излучение

Солнечная электростанция с центральной башней состоит из расположенных на большой площади следящих за Солнцем плоских зеркал, отражающих солнечные лучи на центральный приемник, помещенный на вершине башни.

Аккумуляторы тепловой энергии

Солнечные пруды. В случаях, требующих нагрева больших объемов жидкости до температур ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, применение стандартных нагревателей, описанных выше, оказывается слишком дорогостоящим. Солнечный пруд представляет собой оригинальный нагреватель, в котором теплозащитной крышкой является вода. Достаточно большой водоем может быть вырыт просто в земле.

В солнечный пруд заливается несколько слоев воды различной степени солености, причем наиболее соленый слой толщиной примерно $0,5\text{ м}$ располагается на дне (рис.21).



Рис.21. Солнечный пруд. (Конвекция подавлена и придонные слои жидкости сохраняют тепло, полученное от Солнца)

Солнечное излучение поглощается дном водоема и придонный слой воды нагревается. В обычных однородных водоемах нагретая вода, более легкая, чем окружающая ее, поднимается вверх и в процессе свободной конвекции передает тепло воздуху над водоемом. В неоднородном водоеме придонный слой воды обычно берется более соленым, чем слой над ним, так, что плотность его хотя и уменьшается при нагревании, но все же остается выше плотности более высокого слоя. Поэтому конвекция не возникает и придонный слой нагревается все сильнее. Существуют растворы, плотность которых повышается при нагревании. Их использование позволяет иметь стабильные солнечные пруды. В солнечных прудах достигается равновесная температура до 90 °С и выше. Солнечный пруд в Эйн-Бореке, Израиль, производит 150 кВт электроэнергии с площади 0,74 га при стоимости 0,1 доллар США за 1 кВт ч.

Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую.
(Фотоэлектрические преобразователи)

Самым оптимальным представляется прямое преобразование солнечной энергии в наиболее распространенную в использовании электрическую энергию.

Это становится возможным при использовании такого физического явления, как фотоэффект.

Наиболее распространенным полупроводником, используемым для создания солнечных элементов, является кремний.

Солнечные элементы характеризуются коэффициентом преобразования солнечной энергии в электрическую, который представляет собой отношение падающего на элемент потока излучения к максимальной мощности вырабатываемой им электрической энергии. Кремниевые солнечные элементы имеют коэффициент преобразования 10–15 % (то есть при освещенности, равной 1 кВт/м², они вырабатывают электрическую мощность 1–1,5 Вт с каждого квадратного дециметра) при создаваемой разности потенциалов около 1В.

В 1958 году впервые солнечные батареи были использованы в США для энергообеспечения искусственного спутника Земли Vanguard 1. В последующем они стали неотъемлемой частью космических аппаратов.

Широко известны микрокалькуляторы, часы, радиоприемники и многие другие электронные аппараты, работающие на солнечных батареях.

За последние годы мировая продажа солнечных модулей составила по суммарной мощности 25 МВт в 1986 году и около 60 МВт – в 1991 году.

Полная стоимость солнечных элементов с 1974 по 1984 год упала примерно со 100 до 4 долларов США за 1 Вт максимальной мощности. Предполагается снижение этой величины до 0,8 долларов США. Однако даже при полной стоимости солнечных элементов 4 доллара США на 1Вт плюс вспомогательной аппаратуры 2 доллара США на 1 Вт при облученности местности 20 МДж/м² в день и долговечности солнечных батарей 20 лет стоимость вырабатываемой ими электроэнергии составляет примерно 16 центов США за 1кВт ч (4,4 цента за МДж). Это вполне конкурентоспособно с электроэнергией, вырабатываемой дизель-генераторами, особенно в отдаленных районах, где стоимость доставки топлива и обслуживания резко возрастает. Ожидается, что в ближайшие несколько лет солнечные батареи будут широко использоваться развивающимися странами в сельских местностях в осветительных системах и системах водоснабжения.

Основные компоненты солнечной энергетической установки изображены на рис.24 и включают в себя: Б – солнечную батарею с приборами контроля и управления, А – аккумуляторную батарею, И – инвертор для преобразования постоянного тока солнечной батареи в переменный ток промышленных параметров, потребляемый большинством электрических устройств.

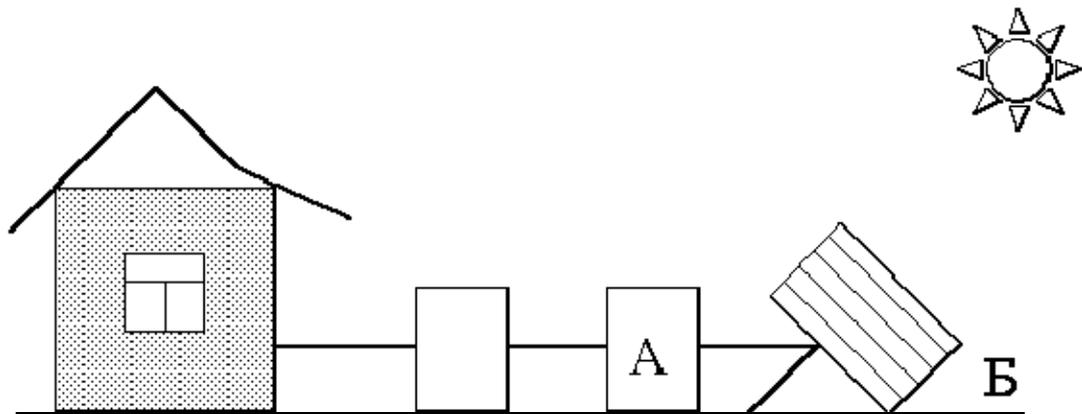


Рис. 24. Основные компоненты солнечной энергетической установки

Несмотря на неравномерность суточного потока солнечного излучения и его отсутствие в ночное время, аккумуляторная батарея, накапливая вырабатываемое солнечной батареей электричество, позволяет обеспечить непрерывную работу солнечной энергетической установки.

Гидроэнергетика

Гидроэнергетические ресурсы составляют один из наиболее изученных возобновляемых источников энергии. По оценкам специалистов реальный уровень его использования не превысит 50 тыс.кВт установленной мощности, что с точки зрения энергетического баланса республики является величиной незначительной. Однако потенциальная мощность всех учитываемых водотоков Беларуси составляет 850 тыс.кВт, более 50% мощности приходится на средние и малые реки, Экономически целесообразным представляется реализация 30% потенциала гидроресурсов (255 тыс.кВт).

Термин "гидроэнергетика" определяет область энергетики, использующей энергию движущейся воды, как правило, рек. Эта энергия преобразуется или в механическую, или чаще всего в электрическую. Помимо гидроэнергетики водными источниками энергии являются морские волны и приливы.

Гидроэнергетика является наиболее развитой областью энергетики на возобновляемых ресурсах.

Важно отметить, что в конечном итоге возобновляемость гидроэнергетических ресурсов также обеспечивается энергией Солнца. Действительно, реки представляют собой потоки воды, движущиеся под действием силы тяжести с более высоких на поверхности Земли мест в более низкие, и, в конце концов, впадают в мировой океан. Под действием солнечного излучения вода испаряется с поверхности мирового океана, пар ее поднимается в верхние слои атмосферы, конденсируется в облака и выпадает в виде дождя, пополняя истощаемые истоки рек (рис. 28).

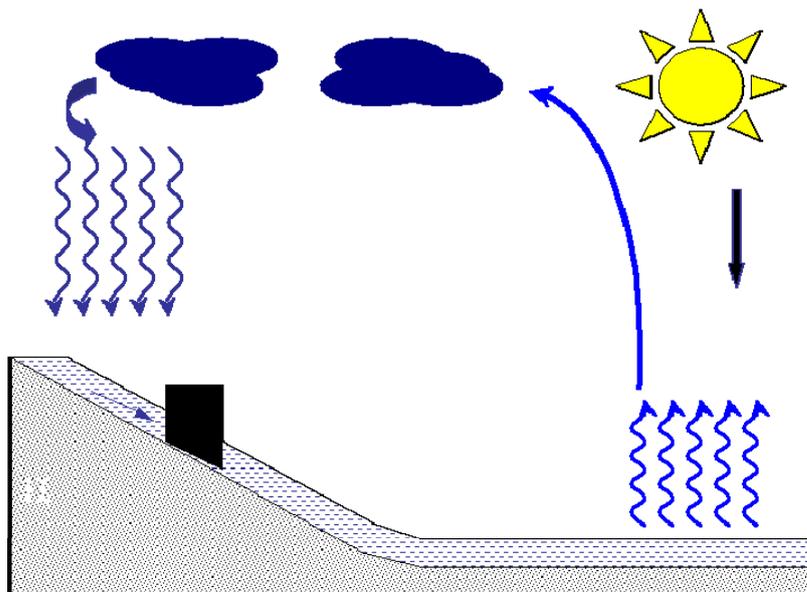


Рис. 14. Схема преобразования солнечной энергии в гравитационную потенциальную энергию воды

Таким образом, используемая энергия рек является преобразованной в механическую энергией Солнца.

Часто бывает, что в силу тех или иных изменений атмосферных условий этот кругооборот нарушается, реки мелеют или даже полностью высыхают. Другим крайним случаем является нарушение этого кругооборота, приводящее к наводнениям.

Для исключения этих обстоятельств на реках перед гидроэлектростанциями (ГЭС) строятся плотины, формируются водохранилища, с помощью которых регулируется постоянный напор и расход воды. Гидроэлектростанции и их оборудование используются очень долго, турбины, например, – около 50 лет. Это объясняется условиями их эксплуатации: равномерный режим работы при отсутствии экстремальных температурных и других нагрузок. Вследствие этого стоимость вырабатываемой на ГЭС электроэнергии низка (примерно 4 цента США за 1 кВт·ч) и многие из них работают с высоким экономическим эффектом. Например, Норвегия производит 90 % электроэнергии на ГЭС. Вырабатываемую ГЭС энергию очень легко регулировать, что важно при ее использовании в энергосистемах с большими колебаниями нагрузки.

С самого начала (примерно с 1980-х годов прошлого столетия) для производства электроэнергии в гидроэнергетике использовались в основном гидравлические турбины. Их суммарная мощность возрастает сейчас во всем мире примерно на 5 % в год, то есть удваивается каждые 15 лет. В 1980 году мощность всех ГЭС составляла примерно 500000 МВт и большая часть станций имела мощность более 10 МВт.

Потенциальные возможности гидроэнергетики оцениваются в $1,5 \cdot 10^6$ МВт, при этом они наиболее велики в Африке, Китае и Южной Америке.

Наиболее сложными проблемами гидроэнергетики являются: ущерб, наносимый окружающей среде (особенно от затопления больших площадей при создании водохранилищ), заиливание плотин, коррозия гидротурбин и, в сравнении с тепловыми электростанциями, большие капитальные затраты на их сооружение.

Поэтому особенно перспективным в настоящее время является использование гидроэнергетических ресурсов малых рек без создания искусственных водохранилищ.

Республика Беларусь является преимущественно равнинной страной, тем не менее, ее гидроэнергетические ресурсы достаточно существенны. Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 года в качестве основных направлений развития малой гидроэнергетики в республике предусматривает:

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

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

Общую мощность малых ГЭС в республике предполагается довести к 2010 году до 100 МВт установленной мощности, что обеспечит экономию 120 тысяч тонн условного топлива в год.

Одним из высокоприоритетных белорусских национальных проектов в Мировой солнечной программе на 1996–2005 гг. является создание каскада из четырех ГЭС общей мощностью 132 МВт на реке Западная Двина с обеспечением специальных мер по минимизации затопления.

Вообще бассейны рек Западная Двина и Неман, протекающих по территории Беларуси, относятся к зонам высокого гидроэнергетического потенциала и использование его еще в 1940-х годах намечалось путем строительства многоступенчатых каскадов ГЭС. В настоящее время разработан проект создания каскада четырех ГЭС на р. Западная Двина со строительством ГЭС в районе городов Витебска, Бешенковичи и Полоцка и еще одной ниже по течению с общей установленной мощностью 132 МВт и ежегодной выработкой электроэнергии 530 млн. кВт·ч. Требуемые капитальные вложения для реализации этого проекта составляют около 120 млн. долларов США.

Аналогичный проект разработан и для реки Неман со строительством ГЭС в районе г. Гродно и д. Немново с общей установленной мощностью каскада 45 МВт и ежегодной выработкой электроэнергии 180 млн. кВт·ч. Этот проект требует около 40 млн. долларов США капитальных вложений.

Основные принципы использования энергии воды

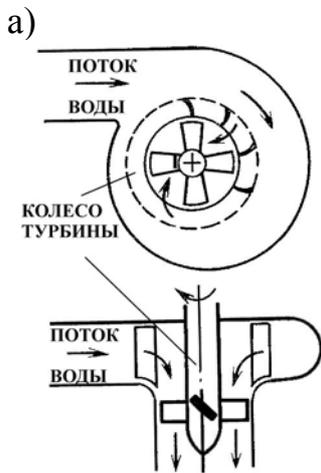
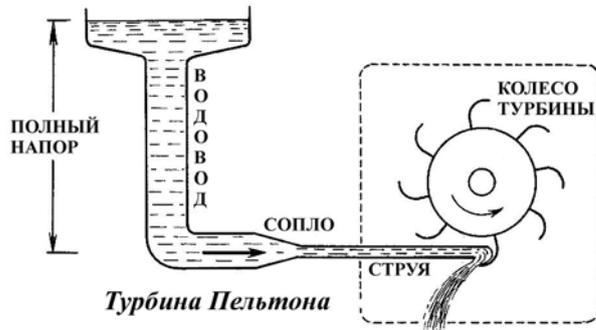
Оценка мощности водного потока. Пусть Q – объем воды, поступающей в рабочий орган гидроэнергетической установки в единицу времени (расход, измеряемый в $\text{м}^3/\text{с}$), H – высота падения жидкости (напор, измеряемый в метрах), ρ – плотность воды ($\text{кг}/\text{м}^3$), g – ускорение силы тяжести ($9,8 \text{ м}/\text{с}^2$). Тогда мощность водного потока P определяется по формуле

$$P = Q\rho gH.$$

Основным рабочим органом гидроэнергетической установки, непосредственно преобразующим энергию движущейся воды в кинетическую энергию своего

вращения, является *гидротурбина*. Коэффициент полезного действия гидротурбины составляет до 90%. Гидротурбины бывают двух типов:

- *активные гидротурбины*, рабочее колесо которых вращается в воздухе натекающим на его лопасти потоком воды (рис. 29, а).
- *реактивные гидротурбины*, рабочее колесо которых полностью погружено в воду и вращается в основном за счет разности давлений перед и за колесом (см. рис. 29, б),



б)

Рис. 29. Схемы активной гидротурбины (турбины Пельтона) (а) и реактивной гидротурбины (б)

В активной гидротурбине водный поток перед турбиной с помощью водовода и сопла формируется в струю, которая направляется на ковши, расположенные на ободе колеса, приводя его во вращение. Величина КПД реальных турбин колеблется от 50 % для небольших агрегатов до 90 % для больших энергоустановок.

Конструкция рабочего колеса реактивной гидротурбины такова, что поток воды воздействует на все лопасти турбины одновременно и практически постоянно. Наиболее компактной конструкцией реактивной гидротурбины является пропеллерная с преимущественно осевым направлением потока в рабочем колесе. Направляющий аппарат на входе турбины несколько закручивает поступающий на рабочее колесо поток, увеличивая тем самым КПД турбины.

Гидроэлектростанции

В основном современные гидроэнергетические установки используются для производства электроэнергии. На рис.30 показана схема типичной гидроэлектростанции. В нее входят водохранилище, подводящий водовод, регулятор расхода воды, гидротурбина, электрогенератор, система контроля и управления параметрами генератора, электрораспределительная система.

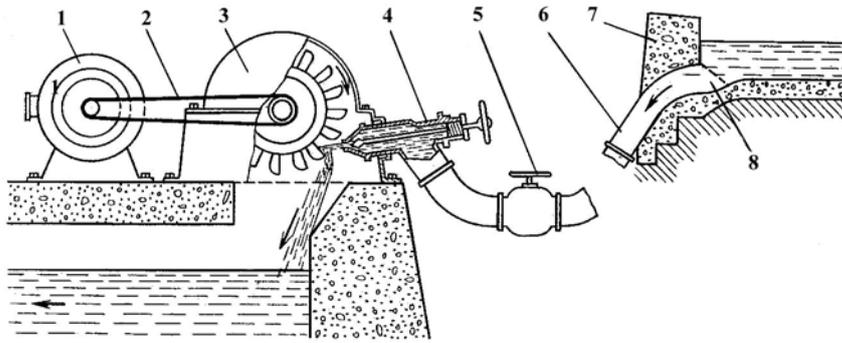


Рис. 30. Схема гидроэлектростанции с ковшовой (активной) гидротурбиной:
 1 – электрогенератор; 2 – привод от турбины к генератору; 3 – гидротурбина;
 4 – сопло; 5 – вентиль; 6 – водовод; 7 – плотина; 8 – решетка

ЛЕКЦИЯ 3. Учет и регулирование потребления энергоресурсов. Энергетический менеджмент и энергетический аудит. Энергетический баланс предприятия

Понятие и функции энергетического менеджмента

Энергосбережение означает: переход к энергоэффективным технологиям во всех отраслях экономики, включая топливно-энергетический комплекс; энергоемкие отрасли промышленности; коммунально-бытовой сектор; сельское хозяйство и электрифицированный транспорт; рациональное использование энергии во всех звеньях получения, преобразования и распределения — от добычи первичных энергоресурсов до потребления всех видов энергии конечными пользователями. Пути решения этой проблемы включают в себя: эффективные технологии производства, передачи, распределения и потребления энергии, максимальное использование возобновляемых источников энергии; внедрение новых технологий и оборудования, обеспечивающих снижение удельного расхода топлива, тепловой и электрической энергии; совершенствование и модернизацию существующего оборудования; широкое использование всех вторичных энергетических ресурсов; замену дорогих видов топлива на более дешевые (включая также переход на местные виды топлива) и т.д.

При этом проблема энергосбережения не может быть решена только чисто техническими средствами. Для ее осуществления необходимо наличие системы управления получением и доставкой энергии потребителям, а также потреблением энергии различными потребителями. Эти управленческие задачи и призван решать энергетический менеджмент.

Энергетический менеджмент — это совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

Основная задача энергетического менеджмента — проведение комплексного анализа энергопотребления и его изменения в зависимости от проводимых энергосберегающих мероприятий, включая учет, контроль и, в конечном итоге, минимизацию топливно-энергетических ресурсов.

Являясь частью общего менеджмента, энергетический менеджмент повторяет его иерархическую структуру. Так, различают энергетический менеджмент макроуровня и энергетический менеджмент микроуровня. Энергетический менеджмент макроуровня включает управление рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов на межгосударственном, внутригосударственном, областном, районном, городском, отраслевом уровнях. Энергетическому менеджменту микроуровня соответствует управление на уровне предприятия, учреждения.

Цели энергетического менеджмента:

- целью межгосударственного энергетического менеджмента является сохранение и рациональное использование мировых запасов энергетических ресурсов, поиск новых источников и форм энергии, сохранение окружающей среды;
- цель внутригосударственного энергетического менеджмента — обеспечение энергетической независимости и безопасности; для стран СНГ - переход от энергозатратной к энергоэффективной экономике;
- цель областного, районного, городского энергетического менеджмента - добиться минимального потребления топливно-энергетических ресурсов при обеспечении качества функционирования хозяйства и комфортных условий жизни населения соответствующих регионов;
- цель отраслевого энергетического менеджмента - повысить производительность предприятий отрасли, не увеличивая при этом потребления топливно-энергетических ресурсов;
- целью энергетического менеджмента предприятия является снижение энергетической составляющей в общей структуре затрат предприятия и, следовательно, обеспечение конкурентоспособности выпускаемой продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Функции энергетического менеджмента включают в себя:

- взаимодействие с предприятиями - производителями энергии;
- взаимодействие с энергоснабжающими организациями;
- обработку информации об энергопотреблении по отдельным подразделениям;
- подготовку предложений по энергосбережению;
- запуск и управление энергосберегающими проектами;
- работу с руководством и сотрудниками хозяйствующего субъекта по вопросам энергопотребления.

Достаточно широкий диапазон выполняемых функций диктует необходимость максимального приближения энергетического менеджмента к руководству субъекта хозяйствования и динамичного взаимодействия с ним. В противном случае энергетический менеджмент будет малоэффективным и не сможет обеспечить заданную цель — снижение потребления топливно-энергетических ресурсов.

Энергосберегающие мероприятия выполняются по следующим направлениям:

- составление энергетического баланса;
- энергетическое обследование (аудит);
- мониторинг и планирование энергосберегающих мероприятий.

Эффективность любого энергосберегающего мероприятия может быть успешно достигнута только при условии технической грамотности персонала предприятия.

Порядок проведения энергосберегающих мероприятий определяется Законом Республики Беларусь «Об энергосбережении» (15 июня 1998 года), а также устанавливается Правительством Республики Беларусь.

Согласно Закону «Об энергосбережении» основными принципами государственного управления в области энергосбережения являются:

- осуществление государственного надзора за рациональным использованием субъектами хозяйствования топливно-энергетических ресурсов;
- разработка программ энергосбережения различного уровня (государственных и межгосударственных, республиканских, отраслевых, региональных) и их финансирование;
- разработка нормативных документов по снижению энергоемкости производства, сферы услуг и быта;
- создание системы финансово-экономических механизмов, обеспечивающих экономическую заинтересованность производителей и пользователей энергоресурсов в эффективном использовании топливно-энергетических ресурсов, вовлечении в топливно-энергетический баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также в инвестировании средств в энергосберегающие мероприятия;
- повышение уровня использования местных топливно-энергетических ресурсов;
- осуществление государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений;
- создание и внедрение экологически чистых и безопасных энергетических технологий, обеспечение безопасного для населения состояния окружающей среды в процессе использования топливно-энергетических ресурсов;
- реализация демонстрационных проектов высокой энергетической эффективности;
- информационное обеспечение деятельности по энергосбережению и пропаганда передового отечественного и зарубежного опыта в области энергосбережения;
- обучение производственного персонала и населения методам экономии топлива и энергии.

Государство осуществляет научно-техническое обеспечение субъектов хозяйствования в рамках государственных и межгосударственных научно-технических программ, а также инновационных проектов в области энергосбережения.

Энергетический баланс предприятия

Энергетический баланс промышленного предприятия является наиболее важной характеристикой энергетического хозяйства предприятия. Энергетический баланс показывает соответствие, с одной стороны, суммарной подведенной энергии и, с другой, суммарной полезно используемой энергии и ее потерь. При составлении баланса рассматриваются все виды потребляемой на предприятии энергии: электроэнергия, газ, мазут, вода, пар и т.п. Потребление энергии на все цели

на каждом участке предприятия измеряется количественно, кроме того, оцениваются и потери энергии.

Составление баланса производится на основе данных о фактическом потреблении энергии на конкретных участках данного предприятия (двигатели, электрооборудование, освещение и т.д.). Для получения такой информации используются специальные приборы - счетчики электроэнергии, газа, пара, воды и пр.

Изучение энергетических балансов дает возможность установить фактическое состояние использования энергии как на отдельных участках предприятия, так и на предприятии в целом. Энергетический баланс позволяет сделать выводы об эффективности работы предприятия. После закрытия баланса должны быть выявлены точки, участки на предприятии, где можно сэкономить энергию.

В зависимости от вида и количества энергоносителей баланс может быть частным, составленным только для одного энергоносителя, либо сводным энергетическим балансом, составленным по суммарному потреблению всех используемых на предприятии энергетических ресурсов. При составлении частных энергетических балансов количественное измерение энергоносителей производится в джоулях (Дж, МДж, ГДж), киловатт-часах (кВт-ч), тоннах условного топлива (т у.т.). При составлении сводного энергетического баланса измерение различных энергоносителей производится в тоннах условного топлива.

В зависимости от назначения энергетические балансы могут характеризоваться следующими показателями:

- расчетным периодом (отчетные балансы по фактическим данным за прошлый период; плановые - на ближайший планируемый период с учетом заданий по снижению затрат энергии; проектные, составляемые при проектировании объекта и т.д.);
- стадией энергетического потока (производство, преобразование, распределение, конечное использование энергетических ресурсов);
- видом энергоносителя (например, частные энергобалансы по отдельным видам потребляемых энергоносителей, сводные энергобалансы по суммарному потреблению энергии).

Для составления и анализа энергетического баланса предприятия исходная информация может быть представлена в виде следующих данных:

- общей производственной и энергетической характеристики предприятия (объемы и номенклатура выпускаемой продукции, ее себестоимость с выделением энергетической составляющей и т.п.);
- описания схемы материальных и энергетических потоков;
- перечня и характеристик основного энергоиспользующего оборудования;
- данных о расходах энергоносителей;
- данных о работах по рациональному использованию энергии на предприятии.

Схема материальных и энергетических потоков сопровождается описанием видов и параметров энергоносителей, состояния использования вторичных энергетических ресурсов, системы учета и контроля расхода энергии и энергоносителей.

Анализ энергетического баланса состоит в качественной и количественной оценке состояния энергетического хозяйства предприятия.

Анализ использования энергоносителей может быть произведен путем сравнения фактических показателей с нормативными, фактическими за предыдущий период; перспективными, аналогичными на других предприятиях. При этом сравнение показателей должно проводиться с учетом условий сопоставимости (при одинаковых объемах производства, составе и качестве продукции и т.п.).

Эффективность использования энергии в установке можно характеризовать коэффициентом полезного действия (КПД), который определяется по формуле:

$$\eta = \mathcal{E}_{\text{пол}} / \mathcal{E}_{\text{подв}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{пол}}$ — количество полезно использованной энергии,

$\mathcal{E}_{\text{подв}}$ — количество подведенной энергии.

При оценке эффективности использования энергоресурсов на предприятии суммируются как количество использованной, так и количество подведенной энергии на всех установках для различных видов энергоносителей.

В результате изучения энергетического баланса производится оценка такого важного показателя эффективности энергоиспользования, как удельный расход энергии на производство продукции.

Энергетический аудит

Энергетический аудит — это обследование предприятия с целью сбора информации об источниках энергии и ее удельном потреблении на единицу выпускаемой продукции. Энергетический аудит является основным инструментом энергетического менеджмента.

Цели энергетического аудита:

- определение форм используемой энергии;
- изучение потребления энергии, сбор данных по затратам энергии;
- проверка текущей информации по энергетике и исследование рабочих процессов и операций;
- определение структуры тарифов на электроэнергию;
- разработка и совершенствование методики выполнения записи расхода энергии;
- определение потребления энергии на единицу выпускаемой продукции (удельного потребления энергии);
- определение потенциальных зон производства, где имеются наиболее существенные потери энергии;
- разработка мероприятий по сокращению потребления энергии.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «Об энергосбережении» обязательному энергетическому обследованию подлежат предприятия с годовым потреблением топливно-энергетических ресурсов более 1,5 тысяч тонн условного топлива.

По результатам энергетического обследования производится оценка эффективности использования предприятиями энергетических ресурсов (твердого топлива, нефти, газа, электрической и тепловой энергии и т.п.). На основании выявленных нарушений в использовании топливно-энергетических ресурсов готовятся предложения об имеющихся резервах экономии энергоресурсов, а также предлагаются технические и организационные энергосберегающие мероприятия.

Рекомендации по энергосбережению и рациональному использованию энергетических ресурсов не должны ухудшать экологические характеристики оборо-

дования и технологических процессов, безопасность и комфортность работающего персонала, качество продукции.

Уровни энергетического аудита:

- предварительный аудит;
- подробный аудит.

Предварительный аудит заключается в записи и анализе потребления энергии определенным участком производства за установленный временной период. Для предварительного аудита собираются либо уже имеющиеся данные, либо данные, полученные самыми простыми замерами. Основная цель предварительного аудита - преобразовать эти данные в полезную для использования информацию. Такое преобразование дает представление о текущем энергопотреблении. Аудит может быть выполнен быстрым осмотром оборудования, системы энергоснабжения и счетов на топливо. Визуальный осмотр проводится с целью определения возможностей экономии энергии и установления необходимости в более подробном анализе. По результатам предварительного аудита составляется программа проведения подробного энергетического аудита, согласованная с руководством предприятия. В зависимости от сложности предприятия на эту стадию аудита может потребоваться 1-3 дня.

Подробный аудит заключается в сборе и записи полной информации о потребляемой энергии на каждом участке производства за каждый временной период с расчетами энергетических балансов и показателей энергетической эффективности. Для проведения подробного аудита используются резервные портативные контрольно-измерительные приборы. Продолжительность проведения подробного аудита может составлять недели, а иногда и месяцы.

На всем протяжении энергетического обследования происходит сбор информации в соответствии с разработанной программой. Для восполнения отсутствующей информации, необходимой для оценки эффективности использования энергии, применяется так называемое инструментальное обследование. Инструментальное обследование применяется также и в тех случаях, когда имеющаяся информация вызывает сомнения в достоверности.

Проведению подробного энергетического аудита предшествует энергетический осмотр. При предварительном энергетическом осмотре устанавливаются места с наиболее очевидными потерями энергии, такие, как:

- потери топлива;
- утечки пара;
- открытые горячие участки поверхностей, нуждающихся в теплоизоляции;
- нерегулируемые горелки;
- высокая температура газа на выходе;
- работа оборудования вхолостую;
- утечка сжатого воздуха, утечка газа;
- отходы продукции;
- ненужная транспортировка материала;
- частые остановки производства;
- ненужные установки понижения давления;
- неисправные контрольные приборы;
- закупоренные фильтры воздуходувок/компрессоров;

- грязь на рабочих местах;
- утечка конденсата;
- утечка воды;
- чрезмерная освещенность;
- излишнее кондиционирование/нагревание воздуха.

Чтобы облегчить работу по обследованию, обычно заранее подготавливают соответствующие формы по энергетическому осмотру, в которых должна быть отражена вся необходимая информация. Затем при обследовании в подготовленные формы производится запись информации.

Объектами энергетического аудита являются:

1. Паровые системы.
2. Система сжатого воздуха
3. Водоснабжение.
4. Котельные установки.
5. Печи.
6. Бойлеры и теплообменники.
7. Система кондиционирования воздуха, отопление и вентиляция.
8. Освещение.
9. Электрооборудование.
10. Здания.

Процесс энергетического обследования должен включать следующие этапы:

1. Разработку технической программы.
2. Проведение энергетического обследования в рамках технической программы.
3. Обработку и анализ результатов обследования.
4. Разработку мероприятий по сбережению топливно-энергетических ресурсов.
5. Составление энергетического паспорта.

При выработке рекомендаций по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов необходимо учитывать, что проведение энергосберегающих мероприятий неизбежно связано с дополнительными затратами. Поэтому экономический эффект энергосберегающего мероприятия определяется выражением

$$\mathcal{E}_3 = \Delta\mathcal{E}_3 - \Delta\mathcal{E}_3, \quad (2)$$

где $\Delta\mathcal{E}_3$ – снижение затрат, которое достигается в результате экономии энергии после проведения энергосберегающего мероприятия;

$\Delta\mathcal{E}_3$ – дополнительные затраты, связанные с проведением энергосберегающего мероприятия. Например, в $\Delta\mathcal{E}_3$ могут входить расходы на установку приборов учета энергии, эксплуатационные расходы на обслуживание этих приборов и т.п.

Очевидно, что энергосберегающее мероприятие экономически целесообразно при $\mathcal{E}_3 > 0$.

ЛЕКЦИЯ 4 Энергосбережение и энергоэффективность в строительстве

Зелёное строительство (экостроительство)

- **Энергоэффективность** — эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов. Использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или техпроцессов на производстве. Достижение экономически оправданной эффективности использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды.
- В отличие от [энергосбережения](#), направленного на уменьшение энергопотребления, энергоэффективность (полезность энергопотребления) — полезное (эффективное) расходование энергии.
- В мире принят международный стандарт [ISO 50001](#), который регулирует в том числе энергоэффективность.

Зелёное строительство (Экостроительство, Экодевелопмент) — это вид строительства и эксплуатации зданий, воздействие которых на окружающую среду минимально. Его целью является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания: от выбора участка по проектированию, строительству, эксплуатации, ремонту и сносу.

Основные направления экостроительства

Экомейнстрим — европейские дома, где экономится вода и тепло (безотопительные пассивные дома с ультранизкими теплотратами).

Здания хорошо утепляются, вентиляция организована с использованием рекуператоров. Реализована параллельная система сбора дождевой воды. Один водопровод — с питьевой водой, другой — с технической. Дождевая вода также используется для полива зеленых насаждений. Используются возобновляемых источников энергии (солнечные коллекторы и фотопреобразователи, тепловые насосы, ветроустановки и т.д.).

Реализовано более 15000 домов в Австрии и Германии.

Нулевой дом, или пассивный дом (англ. passive house)

энергоэффективное здание, соответствующее наивысшему стандарту энергосбережения в мировой практике индивидуального и многоэтажного строительства.

- Для пассивного дома **энергопотребление составляет около 10%** от удельной энергии на единицу объема, потребляемой большинством современных зданий. Незначительное отопление требуется лишь в период отрицательных температур.
- В идеальном случае пассивный дом является независимой энергосистемой, вообще не требующей расходов на поддержание комфортной температуры воздуха и воды.

Экохайтек — пилотные проекты со сложными инженерными сооружениями и фасадами, системами переработки мусора и т.д. Они компьютеризированы, в них используются сложнейшие системы по управлению климатом, светом, водой и т.п.

(Пример: Башня Хёрста, Нью-Йорк, США, 2000–2006. Дождевая вода, скапливающаяся в резервуарах на крыше, используется для полива растений и работы кондиционеров.)

Эколотек — применяются, в основном, природные материалы (дерево, глина, солома, тростник).

В европейских странах такие технологии сейчас узаконены, для соломенных домов уже существуют строительные нормы, в Англии на их покупку даже стали давать ипотечные кредиты.

В Беларуси построены пилотные дома из экокубов с непрессованной соломой внутри, металлической сеткой по бокам.

- Стоимость – порядка 310 \$/м²
- С монтажом под ключ (включая фундамент и кровлю) – около 550 \$/м². Готовый дом по этой технологии под ключ можно построить за 2,5 месяца.
- В экокубах используется непрессованная солома. Вентиляция осуществляется и через стены: уходит CO₂, поступает кислород.





Экофутуризм — необходимо «отменить» отходы, ядовитые вещества, а новые искусственные вещества сделать неядовитыми и безотходными. Использование 3D принтеров при строительстве.

Тепловые насосы

В зависимости от **принципа работы** тепловые насосы подразделяются на компрессионные и [абсорбционные](#). Компрессионные тепловые насосы всегда приводятся в действие с помощью механической энергии (электроэнергии), в то время как абсорбционные тепловые насосы могут также использовать тепло в качестве источника энергии (с помощью электроэнергии или топлива).

В зависимости от **источника отбора тепла** тепловые насосы подразделяются на :

1) Геотермальные (используют тепло земли, наземных либо подземных грунтовых вод) **а) замкнутого типа**

горизонтальные

Горизонтальный геотермальный тепловой насос

Коллектор размещается кольцами или извилисто в горизонтальных траншеях ниже глубины промерзания грунта (обычно от 1,2 м и более). Такой способ является наиболее экономически эффективным для жилых объектов при условии отсутствия дефицита земельной площади под контур.

вертикальные

Коллектор размещается вертикально в скважины глубиной до 200 м. Этот способ применяется в случаях, когда площадь земельного участка не позволяет разместить контур горизонтально или существует угроза повреждения ландшафта.

водные

Коллектор размещается извилисто либо кольцами в водоёме (озере, пруду, реке) ниже глубины промерзания. Это наиболее дешёвый вариант, но есть требования по минимальной глубине и объёму воды в водоёме для конкретного региона.
С непосредственным теплообменом. В отличие от предыдущих типов, хладагент компрессором теплового насоса подаётся по медным трубкам, расположенным:

Вертикально в скважинах длиной 30 м и диаметром 80 мм

Под углом в скважинах длиной 15 м и диаметром 80 мм

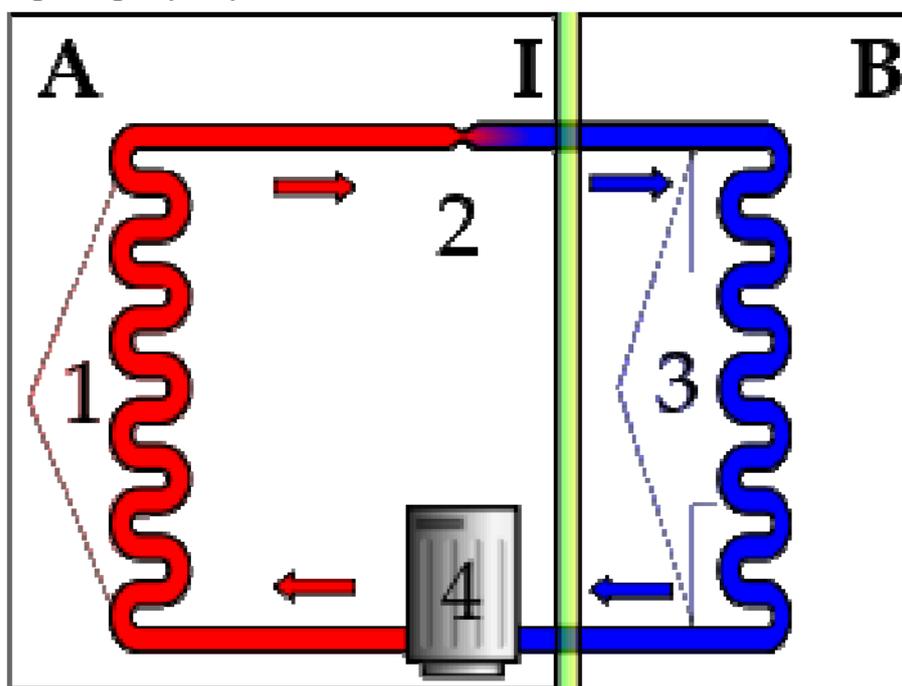
Горизонтально в грунте ниже глубины промерзания

б) открытого типа

Подобная система использует в качестве теплообменной жидкости воду, циркулирующую непосредственно через систему геотермального теплового насоса в рамках открытого цикла, то есть вода после прохождения по системе возвращается в землю. Этот вариант возможно реализовать на практике лишь при наличии достаточного количества относительно чистой воды и при условии, что такой способ использования грунтовых вод не запрещён законодательством.

2) Воздушные (источником отбора тепла является воздух)

3) Использующие производное (вторичное) тепло (например, тепло трубопровода центрального отопления). Подобный вариант является наиболее целесообразным для промышленных объектов, где есть источники паразитного тепла, которое требует утилизации.





Категории критериев оценки зеленых зданий:

1. **Энергоэффективность, «умные сети»** - мониторинг работы инженерии оборудования в городском масштабе.

2. **Биоклиматика** — использование качеств местного климата и расположения для снижения энергозатрат и создания гармоничного пространства.

3. **Социокультурное восприятие** — комфортная среда для пользователей объекта: тепло, вентиляция, освещение, звук, гигиена, безбарьерность, навигация, антиблик, доступ, возможность трансформации пространства, безопасность, колористика и визуальный комфорт, метафизика объекта.

4. **Влияние на окружающую среду** — снижение выбросов вредных веществ при строительстве и эксплуатации объекта, минимальное вторжение в экосистемы, сохранение природного ландшафта.

5. **Сохранение природного разнообразия** — стратегии сохранения экосистем и отдельных видов флоры и фауны, мероприятия по воссозданию экосистем, разрушенных в процессе строительства, создания новых зеленых пространств (зеленые стены и кровли), меры по добрососедскому сожитию людей и животных (пути миграции, жилища), стратегии по увеличению биоразнообразия.

6. **Место** — предпочтения в использовании вместо новых площадок заброшенных индустриальных территорий либо исторических зданий, юридические аспекты землепользования, культурное восприятие объекта общественным мнением, близость социальных функций, резервы для расширения.

- 7. **Бизнес и инвестиции** — предпочтения для зеленого строительства, дотации от правительственных и общественных организаций.

- **8. Строительный процесс** — конкурсное проектирование, квалификация строительных подрядчиков, всеобъемлюще ее и оптимизация планирования (BIM, IPD), качество строительной площадки, управление строительством, бережливое отношение к окружающей среде, зеленые закупки и тендеры, сертификация объекта (BREEAM, LEED, DGNB, Certivea, Green Star), сдача в эксплуатацию, систематическое обслуживание, энергетическая паспортизация, квалификация обслуживающего персонала.
- **9. Транспорт** — близость общественного транспорта, внедрение зеленых транспортных стратегий в пространство объекта (велосипед, скейт, электроавто, автобус на биодизеле, сигвей,), стратегии коммунального транспорта (1 авто на несколько семей), снижение скорости движения автомобилей во внутренних пространствах, избегание пересечения потоков авто и пешеходов, удобные транспортные пути, предпочтения для общественного транспорта, пешеходные зоны.
- **10. Ресурсы** — экологичные материалы преимущественно местного производства, вторично переработанные и вторично используемые материалы, управление водопотреблением и отходами, уменьшение использования ископаемого топлива, рациональное использование техники и человеческих ресурсов при строительстве.
- **11. Инновации** — внедрение новейших разработок и стратегий.
- **12. Анализ жизненного цикла (АЖЦ)** — наличие АЖЦ (LCA) на всех этапах проектирования и строительства, АЖЦ в период эксплуатации, методика АЖЦ, экономический жизненный цикл (этапы финансирования для поддержания зданий и модели финансирования), анализ повторного использования материалов.

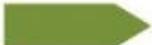
Стандарты экостроительства

- BREEAM (Великобритания) – метод экологической оценки эффективности зданий
- LEED (США) – руководство по энергоэффективному и экологическому проектированию
- DGNB (Германия)

Зеленые стандарты призваны ускорить переход от традиционного проектирования и строительства зданий и сооружений к устойчивому, которое проповедует следующие принципы:

- безопасность и благоприятные здоровые условия жизнедеятельности человека;
- ограничение негативного воздействия на окружающую среду;
- учет интересов будущих поколений.

МАРКИРОВКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Индекс энергоэффективности		Годовое удельное потребление	
		тепло	электроэнергия
A		<45	<50
B		46-65	51-65
C		66-85	66-75
D		86-105	76-85
E		106-125	86-95
F		126-145	96-105
G		>146	>105

Технические мероприятия повышения энергоэффективности зданий

- **Облицовка** наружных стен, технического этажа, кровли, перекрытий над подвалом теплоизоляционными плитами
- **Устранение мостиков холода** в стенах и в примыканиях оконных переплетов
 - Устройство в ограждениях/фасадах прослоек, вентилируемых отводимым из помещений воздухом (**вентилируемый фасад**)
 - Уменьшение площади остекления до нормативных значений, остекление балконов и лоджий
 - Замена/применение современных окон с многокамерными стеклопакетами, микровентиляция
 - Применение теплоотражающих/солнцезащитных стекол в окнах
 - Остекление фасадов для аккумулялирования солнечного излучения
 - Применение наружного остекления, имеющего различные характеристики накопления тепла летом и зимой;
 - Установка дополнительных тамбуров при входных дверях подъездов и в квартирах

Повышение энергоэффективности систем отопления

- Замена чугунных радиаторов на алюминиевые

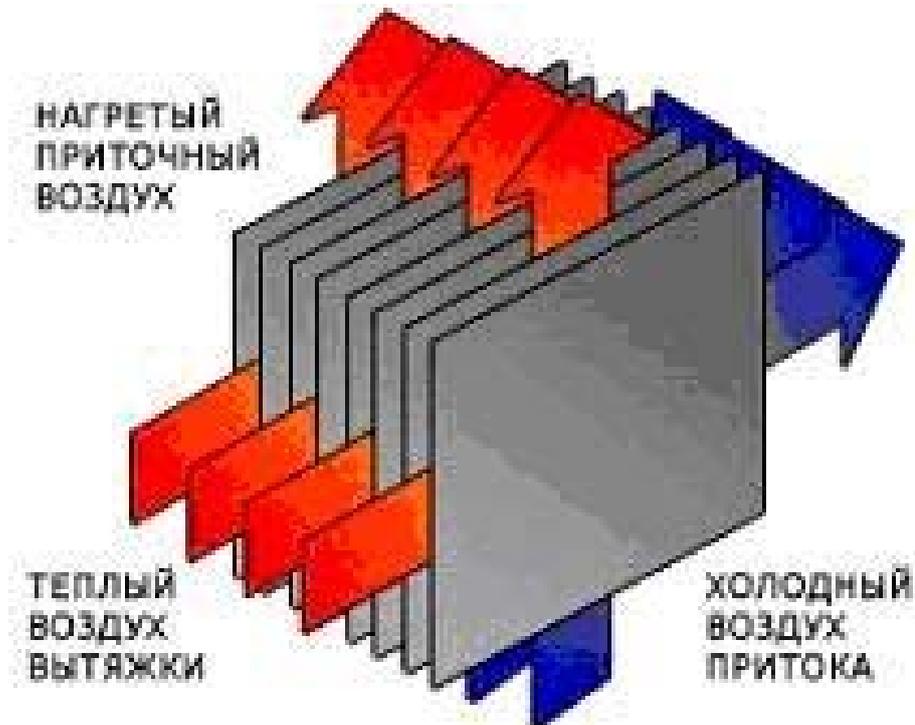
- Применение систем подомового (поквартирного) учета тепла
- Установка теплоотражающих экранов за радиаторами отопления (эффект 1-3%)
- Автоматизированные системы управления - регулируемый отпуск тепла (время суток, окружающая температура и др.)
- Подогрев квартиры от труб с горячей водой
- Дополнительное отопление через отбор тепла от теплых стоков, при отборе тепла грунта в подвальном помещении, дополнительное отопление и подогрев воды при применении солнечных коллекторов и тепловых аккумуляторов
- Сезонная промывка отопительной системы, использование неметаллических трубопроводов, теплоизоляция труб
- Переход при ремонте к схеме индивидуального поквартирного отопления

Повышение качества вентиляции. Снижение издержек на вентиляцию и кондиционирование

Применение автоматических систем вентиляции

- Подогрев поступающего воздуха за счет охлаждения отводимого воздуха (рекуператоры)
- Установка проветривателей в помещениях и на окнах
- Применение систем микровентиляции с подогревом поступающего воздуха и клапанным регулированием подачи
- Применение в системах активной вентиляции двигателей с плавным или ступенчатым регулированием частоты
- Исключение сквозняков в помещениях
- Применение водонаполненных охладителей в ограждающих конструкциях для отвода излишнего тепла
- Использование тепловых насосов для выхолаживания отводимого воздуха

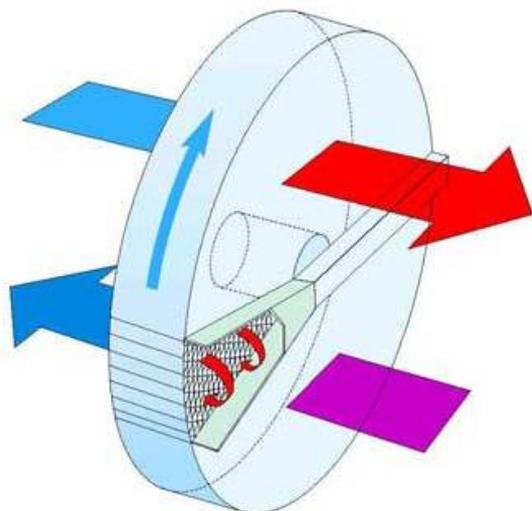
Пластинчатый рекуператор



Пластины изготавливают из:

- алюминия,
- пластика
- нержавеющей стали
- целлюлозы (бумаги)

Роторный рекуператор



В микроканалах роторного рекуператора поочередно проходят то вытяжной, то приточный потоки воздуха.

Проветриватель

I ЦИКЛ (вытяжки воздуха). Загрязненный теплый воздух вытягивается из помещения и, проходя через керамический аккумулятор энергии, постепенно нагревает его и увлажняет, отдавая до 91% своего тепла.

II ЦИКЛ (притока воздуха). Свежий холодный воздух с улицы, проходя через керамический аккумулятор энергии, увлажняется и подогревается до комнатной температуры за счет накопленного в нем тепла. Когда аккумулятор остывает, вентилятор снова переключается в режим вытяжки воздуха и цикл повторяется.

В системе есть фильтры, обеспечивающие очистку воздуха от пыли, пыльцы, насекомых и защиту элементов установки от засорения.

Экономия холодной и горячей воды

- Установка общедомовых, квартирных счетчиков горячей и холодной воды
- установка стабилизаторов давления (понижение давления и выравнивание давления по этажам)
- теплоизоляция трубопроводов горячего водоснабжения (подающего и циркуляционного)
- подогрев подаваемой холодной воды (от теплового насоса, от обратной сетевой воды и т.д.)
- установка экономичных душевых сеток
- установка в квартирах клавишных кранов и смесителей
- установка двухрежимных смывных бачков
- использование смесителей с автоматическим регулированием температуры воды

Экономия электроэнергии

- Замена ламп накаливания на светодиодные
- Применение систем микропроцессорного управления частотнорегулируемыми приводами электродвигателей лифтов
- Применение **фотоакустических реле** для управляемого включения источников света в подвалах, технических этажах и подъездах домов
- Применение энергоэффективных циркуляционных насосов
- Применение **энергоэффективной бытовой техники класса А+, А++, А+++.**
- Использование солнечных батарей для освещения здания
- Модернизация внутридомовых сетей с заменой старого электрического оборудования
- Установка компенсаторов реактивной мощности

Устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ)

Значительную часть электрооборудования любого предприятия составляют устройства, обязательным условием нормальной работы которых является создание в них магнитных полей: трансформаторы, асинхронные двигатели, индукционные печи и прочие устройства, которые можно обобщенно охарактеризовать как «индуктивная нагрузка».

Поскольку одной из особенностей индуктивности является свойство сохранять неизменным ток, протекающий через нее, то при протекании тока нагрузки появляется фазовый сдвиг между током и напряжением (ток «отстает» от напряжения на фазовый угол). Ёмкостные элементы (например, конденсаторы) стремятся сохранять неизменным напряжение на своих зажимах, то есть для них

ток «опережает» напряжение. Разные знаки у тока и напряжения на период фазового сдвига, как следствие, приводят к снижению энергии электромагнитных полей индуктивностей, которая восполняется из сети.

Активная и реактивная энергии составляют *полную энергию*, при этом доля активной энергии по отношению к полной определяется косинусом угла сдвига фаз между током и напряжением — $\cos\varphi$.

В случае, когда $\cos\varphi=1$, вся энергия дойдет до потребителя. В случае $\cos\varphi=0$ ток в проводе возрастет вдвое.

Принцип работы УКРМ заключается в подключении к сети необходимого в данный момент времени количества конденсаторов (катушек индуктивности) для известного мгновенного значения реактивной мощности.

Стимулирование энергосбережения за рубежом

Западноевропейская практика стимулирования энергосбережения

Начиная с нефтяного кризиса 1973-1974 годов, государства Западной Европы активно проводят политику энергосбережения. Причем у каждой нации свои архитектурные вкусы, только ей присущие конструкции сооружений, различные типы промышленных предприятий, климатические особенности. Поэтому каждому государству свойственны свои индивидуальные решения, но при этом возможны общие подходы. Сущность всех программ по энергосбережению, разрабатываемых в различных странах, - это стремление взяться за «самое плохое», то есть направить финансовые средства и усилия прежде всего в те области, где результаты могут оказаться наиболее значительными. Так как в государствах Западной Европы преобладают рыночные отношения, то и в вопросах совершенствования энергоэффективности, как правило, стараются избегать нормативно-правового регулирования, отдавая предпочтение информационным программам и программам, повышающим уровень технической осведомленности, весьма осторожно используя нормативное регулирование.

На рисунке 1 приведена диаграмма, показывающая, в каких секторах хозяйственной деятельности, по мнению западноевропейцев, наиболее благоприятно нормативно-правовое регулирование [22]. Основной принцип, которого они придерживаются, - чем выше энергетическая интенсивность, тем меньше нормативного регулирования в этой сфере. Например, в промышленности рынок сам вынудит повышать энергоэффективность, снижать энергоемкость произведенной продукции с целью повышения ее конкурентоспособности.

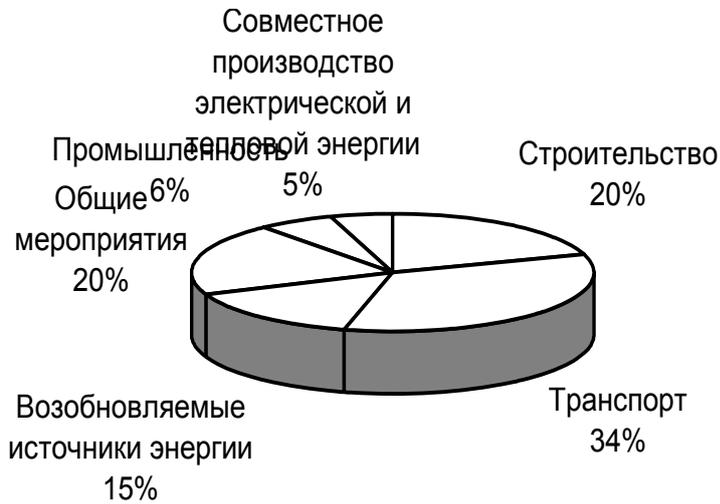


Рис.1. Степень возможного нормативно-правового регулирования энергоэффективности, %

Как видно из диаграммы, областью с самым высоким уровнем правового регулирования является транспортный сектор. Это связано с большим числом потребителей, влиянием характера вождения на расход топлива, а также немаловажной ролью производителей машин, улучшающих их экономические показатели использования топлива. Второе место по количеству нормативов занимает строительство. Очевидно, что нормативы наиболее часто применяются в тех областях, в которых сосредоточено большое число пользователей энергии, и каждый из них потребляет умеренное количество энергии.

Регулирование энергосбережения с помощью общих мероприятий. Во многих странах законодательные рамки позволяют обеспечить основным мероприятиям по повышению энергоэффективности легитимный характер. Это особенно важно в тех случаях, когда устанавливаются специальные налоговые стимулы или субсидии, которые, естественно, должны согласовываться с законом о налогообложении. В других же странах приходится ограничиваться лишь приданием планам по энергосбережению статуса национальных программ.

Ряд государств ввели обязательное требование назначения менеджера по энергетике. Он разрабатывает годовые планы по повышению энергоэффективности и несет личную ответственность за их выполнение. Это, в первую очередь, касается крупных пользователей энергии. Выполнение этого требования открывает компании доступ к правительственным субсидиям на энергосбережение, как, например, происходит в Италии.

Если в стране существует субсидирование энергосберегающих мероприятий, то условия его получения устанавливаются законодательно, что зафиксировано в Законодательном Акте для дотаций. Такие Акты имеются в законодательстве 10 государств из 15 членов ЕС.

В ряде стран (также в 10 из 15) принят закон о налоговых льготах (стимулах). Он позволяет делать налоговые скидки на расходы по приобретению оборудования или услуги, ведущие к энергосбережению. Его часто применяют и для компенсации налогов отдельных граждан или коллективов. Некоторые программы предлагают компаниям выбор: платить налог за потребляемую энергию или произвести инвестиции в мероприятия, повышающие энергоэффективность. Детали применения налоговых льгот оговариваются в законодательстве.

В ряде стран, таких, как Бельгия, Дания, Франция, создан, так называемый Возобновляемый фонд. Он представляет собой государственный фонд по выдаче займов для инвестирования в энергосберегающие мероприятия. Фонд функционирует на возвратной основе, что делает его постоянно действующим и хозрасчетным. Как правило, установленная фондом процентная ставка ниже, чем при обычных коммерческих условиях, что равносильно льготному кредиту. Однако, по оценкам экспертов, Возобновляемый фонд достаточно дорого обходится правительству. Поэтому в качестве альтернативы ему в ряде стран, таких, как Франция, Германия, Люксембург, Нидерланды, применяется ускоренная норма амортизации. Она представляет собой право, предоставляемое доходным предприятиям списывать инвестиции в проекты по энергоэффективности быстрее, чем другие капиталовложения, что дает возможность снизить за короткий срок налоговую задолженность.

В Австрии, Дании, Франции, Ирландии, Италии, Нидерландах под рубрикой общих мероприятий применяется правовое (нормативное) регулирование энергетического менеджмента спроса коммунальных хозяйств. Оно состоит в том, что, следуя программе энергетического менеджмента спроса, использующей методы планирования энергообеспечения по наименьшим затратам, производитель энергии более заинтересован отдать часть своей прибыли на финансирование энергосберегающих мероприятий у потребителя, а не на строительство новых генерирующих мощностей. Поскольку большинство национальных поставщиков энергии находится в собственности государства, то государство перед финансированием подобных схем должно утвердить затраты и прибыль от реализации программы и форму правового регулирования расходов.

Регулирование энергосбережения в промышленности

Немногие государства Западной Европы идут по пути установки нормативов, непосредственно относящихся к промышленности. Причиной непопулярности введения нормативов для промышленности является то, что промышленность располагает достаточным количеством финансовых средств, высокой технической квалификацией персонала, стремлением к максимальным доходам. Другими словами, в промышленном секторе достаточно собственных внутренних стимулов, порожденных конкуренцией на рынках, принуждающих производить менее энергоемкую, а следовательно, более конкурентоспособную продукцию, а значит, и активно осуществлять политику энергосбережения.

Тем не менее, в некоторых странах все же используются мероприятия, стимулирующие повышение энергоэффективности промышленности. К их числу относятся следующие.

В ряде государств применяются обязательные энергетические аудиты. В отраслях с большим потреблением энергии такие аудиты проводятся на регулярной основе, и их предписания обязательны к исполнению. Энергетические аудиты являются необходимым условием для выделения правительственных субсидий или другой помощи в осуществлении мероприятий по энергосбережению.

В Италии, Франции, Нидерландах, Португалии существует требования составления энергетических планов крупными промышленными предприятиями с указанием намечаемых мероприятий по повышению энергоэффективности, а также выполнения отчетов по использованию энергии в течение года и деятельности, направленной на уменьшение энергопотребления.

В Германии, Греции и Франции применяются стандарты для камер сгорания топлива. Очевидно, роль этого стандарта особенно велика там, где эксплуатируются парогенераторы или установки по выработке технологического тепла. Очень редки в Западной Европе энергетические стандарты на оборудование. Они охватывают двигатели, насосы, вентиляторы и компрессоры.

Для стимулирования совместной выработки тепла и электрической энергии используются такие мероприятия, как благоприятный ценовой режим, денежные дотации, когда часть капиталовложений обеспечивается правительством. Правда, существуют они в странах, составляющих менее половины от входящих в ЕС.

Управление энергосбережением в строительстве.

Строительство - одна из сфер хозяйственной деятельности, где широко применяется нормативное регулирование. Самыми распространенными из всех используемых нормативов являются нормативные сопротивления теплопередаче через ограждающие конструкции зданий и сооружений. Они должны гарантировать теплотери ниже максимально допустимого уровня при проектировании и строительстве новых зданий. В некоторых случаях национальные кодексы применяются также к работам по реабилитации существующих зданий.

Кроме того, функционирует нормативное регулирование эффективности приборов, которое применяется по отношению к отопительному оборудованию, водогрейным системам, а также к холодильникам, стиральным и моечным машинам и другим видам домашнего оборудования. Законодательные акты, закрепляющие эти нормативы, могут либо запретить продажу приборов, у которых энергетические характеристики ниже определенного уровня, либо потребовать соответствующей маркировки, информирующей покупателей об энергопотреблении. Стандарты на приборы и правила маркировки также оговорены законодательными актами.

В Австрии и Германии введено измерение потребления тепловой энергии отдельными жилыми домами. Учет тепловой энергии, потребляемой жилым домом, входящим в систему централизованного теплоснабжения, предполагает выявление фактической стоимости потребленной тепловой энергии. И, если счета за энергию, основанные на измеренном потреблении, являются предпосылкой к действенной работе по энергосбережению, то необходимо и эффективное средство регулирования количества потребляемой энергии.

Управление энергосбережением на транспорте.

Транспорт является сферой, которой более всего присуще государственное регулирование. Самым распространенным инструментом влияния на конъюнктуру последней служат высокие налоги на топливо для двигателей. Цены на топливо влияют на решение потребителей о выборе автомобиля, а это, в свою очередь, ориентирует производителей на выпуск тех или иных типов машин. Например, в Италии существуют высокие налоги и цены на бензин и, как следствие, один из самых эффективных, с точки зрения потребления топлива, автомобильных парков Европы. Однако, многие правительства используют налогообложение на топливо не столько для стимулирования эффективности его использования, сколько для пополнения своего бюджета.

Директива ЕС требует ежегодной проверки состояния транспортных средств, в том числе и определения характеристик выбросов. В некоторых случаях нацио-

нальные требования включают оценку качества и эффективности использования топлива.

Некоторые европейские правительства в 1980-е годы заключили добровольные соглашения с производителями транспортных средств по повышению эффективности новых автомобилей. В этой связи были достигнуты плановые показатели. Однако нельзя исключать и того, что факторы внешнего рынка привели бы к аналогичному же результату, даже при отсутствии подобных соглашений.

В ряде европейских государств в течение ограниченных периодов времени применялись субсидии или налоговые скидки для замены транспортных средств. Иногда эти стимулы использовались для ускорения внедрения каталитических нейтрализаторов.

В каждой стране существует ограничение «короста практически для всех видов дорог. Прежде всего, оно мотивируется соображениями безопасности, но вместе с тем приносит дополнительную пользу - экономию топлива.

Такие инструменты, как налоги на покупку и импорт машин, а также ежегодная пошлина на автомобили, безусловно, являются средством увеличения годового дохода. Тем не менее, они также часто разрабатываются, для того чтобы стимулировать спрос потребителя на машины с более высокоэффективным использованием топлива. Поэтому можно сказать, что структура налогообложения влияет и на производителей автомобилей.

Греция ввела налоговую скидку на новые небольшие автомобили с низким уровнем выброса; а для получения налоговой скидки требовалось вывести из обращения старый автомобиль.

Во Франции и Италии действует такой инструмент, как возрастающий налог на добавленную стоимость (то есть повышенный показатель для объема двигателя, превышающего определенный уровень), который, с точки зрения энергоэффективности, благоприятно влияет на размер транспортного средства. У транспортных средств на дизельном топливе расход топлива ниже, чем у транспортных средств на бензине, особенно в городском режиме. Поэтому применение дифференцированного налогообложения для бензина и дизельного топлива привело к большему распространению дизельных машин в Европе, что особенно заметно во Франции и Великобритании. Более низкие цены на дизельные автомобили также благоприятствуют им по сравнению с машинами на бензине.

С целью преодоления информационного барьера на пути к энергосбережению используется маркировка новых автомобилей по расходу топлива и распространение сведений о потреблении топлива. В Великобритании такая маркировка является обязательным требованием, в то время как в других государствах принят добровольный порядок классификации.

В некоторых европейских государствах при прохождении экзамена для получения водительских прав существует проверка качества вождения с позиций эффективного использования топлива. Это наиболее актуально для водителей автобусов и трактористов, поскольку регулярное наблюдение за потреблением топлива транспортным средством позволяет им контролировать их собственные показатели.

Регулирование внедрения возобновляемых источников энергии. Отсутствие в настоящее время на рынке многих технологий, основанных на использовании возобновляемой энергии, означает, что требуется определенная форма финансовой

поддержки их развития. Поэтому во многих странах существуют нормативы, направленные на оказание такой поддержки.

Во многих западноевропейских странах довольно сильную поддержку имеет покупка электроэнергии от возобновляемых источников. Для этих целей предусматриваются ценовые стимулы, хотя методы их реализации различны в разных странах. Например, в Дании коммунальные предприятия обязаны покупать энергию, от возобновляемых источников, а в Великобритании существует требование, чтобы энергосистема покупала электроэнергию от возобновляемых источников энергии по фиксированным ценам.

Популярны также и другие стимулы. К примеру, в Англии, Италии и Нидерландах обеспечивается поддержка капитальных вложений в проекты по возобновляемым источникам энергии. Однако поддерживаются различные технологии. Так, в Австрии предпочтение отдается фотоэлектрической энергетике, в Нидерландах приоритетной считается энергия ветра. Германия оказывает поддержку в виде льготных займов, а Португалия снизила НДС на оборудование для возобновляемых источников энергии.

Японский опыт стимулирования энергосбережения

Если в Западной Европе придерживаются рыночной мотивации повышения энергоэффективности, то Япония твердо стоит на позиции государственного регулирования. Поэтому используемые ею стимулы представляют особый интерес для Беларуси. Японский Закон об энергосбережении предписывает правительству предпринять финансовые и налоговые меры для стимулирования рационального использования энергии. Закон учреждает приоритетность инвестиций в энергосбережение по сравнению с капиталовложениями в другое оборудование.

Если предприниматель намеревается внедрять энергосберегающее оборудование, то у него есть возможность получения займа на благоприятный срок в одном из банков, капитал которого полностью принадлежит правительству (перечень таких банков приведен в приложении к закону). Среди них, например, Японский банк развития финансирует сравнительно крупные предприятия, Финансовая корпорация малого и среднего бизнеса обслуживает малые и средние предприятия. На строительство дома японцы могут взять ссуду в Жилищной кредитной корпорации, которая также является банковским учреждением, чей капитал полностью принадлежит японскому правительству. В том случае, если дом обеспечивается элементами энергосбережения, как, например, дополнительной теплоизоляцией, верхний предел ссуды может быть поднят до соответствующего размера.

Не менее значимы и налоговые льготы. Так, если корпоративный индивидуальный предприниматель приобретает энергосберегающее оборудование в фискальном году и использует его для дела в пределах одного года после приобретения, то предприятие может претендовать на два варианта оказываемых льгот: либо предприятию снижают общий налог или каталог на прибыль на 7 % от стоимости приобретенного оборудования (скидка может составить вплоть до 20 %), либо может быть применена специальная скидка, равная 30 % от стоимости оборудования, действующая в дополнение к обычной скидке в первый год. Перечень оборудования, на которое эти меры распространяются, включает 81 наименование, например: высокотемпературная разливочная (литейная) машина непрерывного действия; котел, использующий вторичное тепло; тепловой насос и т.п.

Энергосбережение в России

Учитывая схожесть экономической ситуации в Беларуси и России, а также тот факт, что Белорусская энергосистема являлась частью Единой энергетической системы СССР, российский опыт энергосбережения представляет несомненный интерес для нашего государства. Если основной причиной, вызывающей необходимость проведения политики энергосбережения в Беларуси, является нехватка собственных топливно-энергетических ресурсов (как уже говорилось ранее, обеспеченность республики топливно-энергетическими ресурсами составляет примерно 13-15 % от их необходимого количества), то в России внедрение энергосберегающих технологий обусловлено несколько другими причинами. Так, к их числу можно отнести следующие:

- снижение тарифов на электроэнергию и повышение конкурентоспособности российского производства;
- уменьшение загрязнения окружающей среды, улучшение экологической обстановки, снижение затрат на природоохранные мероприятия;
- сохранение топливных ресурсов или расширение импорта нефте- и газопродуктов с целью увеличения доходов бюджета;
- повышение экономической безопасности страны за счет создания независимых децентрализованных автоматизированных электрогенерирующих источников, находящихся непосредственно у производителей и в системах теплоснабжения.

Для решения вышеперечисленных проблем перед правительством Российской Федерации стоят следующие задачи:

1. Утвердить временные правила присоединения независимых производителей электроэнергии к центральной энергосистеме.
2. Создать государственный фонд, обеспечивающий гарантии потребителям отечественного оборудования и лизинговым компаниям, поставляющим его в части, покрывающей расходы на реально сэкономленное топливо при внедрении энергосберегающих технологий.
3. Законодательно утвердить штрафные санкции за выброс в окружающую среду продуктов сгорания с температурой выше 160⁰С, дав возможность сократить штрафы в том размере, в котором компания направляет денежные средства на внедрение энергосберегающих технологий.
4. Обеспечить финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) на кризисном этапе развития экономики только тех проектов в области энергосбережения, которые обеспечивают серийное производство, и внедрения со сроком окупаемости не более 2-3 лет.

В связи с поставленными задачами топливно-энергетическому комплексу России необходимо добиться снижения расхода топлива на производство электроэнергии при минимальных капитальных затратах, а также определить наиболее перспективные направления использования собственных и иностранных инвестиций. Как ряд возможных путей достижения этих целей в области производства электроэнергии рассматриваются следующие:

- традиционные направления развития электроэнергетики;
- нетрадиционные технологии производства электроэнергии;

- бестопливные и энергосберегающие технологии производства электроэнергии;
- проработка вопросов нерационального использования топливных ресурсов при производстве электроэнергии.

Традиционные направления развития электроэнергетики

Создание электростанций с конденсационными турбинами единичной мощностью 500 МВт при сложившейся стоимости капиталовложений в РАО «ЕЭС России» потребует 875 млн. USD на каждую установку. Срок ее проектирования и строительства -5-6 лет, а срок окупаемости при использовании номинальной мощности 6000 часов в год при продаже промышленному потребителю 1 кВт-ч за 0,06 USD составит 14-16 лет с момента начала строительства. И для государства, и для инвесторов такие капиталовложения едва ли представляются возможными в ближайшие 8-10 лет.

Создание электростанций с парогазовыми установками единичной мощностью также 500 МВт при использовании газовых турбин западных производителей (стоимостью 600-700 USD за 1 кВт ч энергетического оборудования) потребует таких же капиталовложений, как и электростанции с конденсационными турбинами. Однако за счет снижения расхода топлива с 340 до 260 граммов условного топлива на выработку 1 кВт-ч энергии можно уменьшить срок окупаемости на 2-3 года по отношению к традиционным электростанциям.

Атомные станции, на строительство которых потребуется 10-12 лет, со стоимостью установленной мощности 2000 USD за 1 кВт [24] имеют срок окупаемости не меньше 14-15 лет. Однако в ряде регионов к ним наблюдается отрицательное отношение после аварий в Чернобыле и США. Кроме того, окончательно не решены вопросы, связанные с захоронением радиоактивных отходов, в связи с чем будущее атомной энергетики является предметом серьезной дискуссии.

Строительство новых крупных гидроэлектростанций из-за больших капитальных затрат и наносимого экологического ущерба земельным угодьям несмотря на низкую стоимость энергии (менее 0,01 USD) в России в настоящее время не планируется.

Таким образом, анализ традиционных путей развития энергетики показывает малую

инвестиционную привлекательность создания в России крупных электростанций.

В то же время суммарный объем энергосбережения в России по данным [25] составляет 400-500 млн. т у.т., из них:

- промышленность - 160-190 млн. т у.т.;
- топливно-энергетический комплекс - 150-180 млн. т у.т.;
- коммунально-бытовой сектор - 75-83 млн. т у.т.;
- транспорт - 42-50 млн. т у.т.;
- сельское хозяйство—27-29 млн. т у.т.

Федеральной целевой программой «Энергосбережение России» предусмотрена суммарная экономия топлива **в течение** 1998-2005 годов в размере 365-435 млн, т у.т. Стоимость **этого** количества топлива в мировых ценах составляет 32 млрд. USD при планируемых капитальных вложениях 10 млрд. USD. Особая роль в этой программе отводится энергосберегающим и нетрадиционным технологиям производства электроэнергии.

Нетрадиционные технологии производства электроэнергии

Среди нетрадиционных способов производства энергии рассматриваются:

- возможности использования геотермальной энергии (Мутновское месторождение, Курильские острова). Причем, вклад ее в электроэнергетику оценивается в пределах 200-250 МВт в ближайшие 10 лет. Стоимость 1 кВт установленной мощности составляет для России более 2000 USD без учета создания скважин;
- использование энергии ветра даст возможность получить еще около 3 МВт в ближайшие 5 лет. Стоимость 1 кВт установленной мощности составляет более 1000 USD, срок окупаемости—10-12 лет;
- в области использования микро-ГЭС ожидается создание электростанций общей мощностью не более 10 МВт при стоимости 1 кВт установленной мощности более 2500 USD;
- использование солнечной энергии для производства электричества в производственных целях при стоимости 1 кВт более 3000 USD в государственном масштабе в ближайшее время маловероятно.

Таким образом, суммарная мощность электростанций, работающих с использованием энергии геотермального тепла, ветра и воды (мини- и микро-ГЭС) в ближайшие 10 лет будут превышать 300-350 МВт при условии их стопроцентного финансирования в размере 800-900 млн USD. Экономия органического топлива при их внедрении составит приблизительно 1 млн. т у.т. (80 млн USD), срок окупаемости проекта примерно 10 лет. Кроме того, внедрение вышеуказанных технологий возможно только в отдельных областях России.

Ко второму направлению нетрадиционных технологий производства электроэнергии можно отнести использование энергии биомассы и бытовых отходов. Однако сжигание бытовых отходов и биомассы сопровождается выбросами вредных веществ в окружающую среду. А экономический и экологический эффект данных проектов для государства следует оценивать не только исходя из экономии топлива, но и из стоимости затрат на создание иловых полей и мусорных свалок. Так, анализ экономической эффективности проекта для Люберецкой водоочистительной станции (г. Москва) показал, что стоимость 1 кВт установленной мощности составляет около 1000 USD при готовой производственной инфраструктуре (существующие метантеки, паровые котлы и т.п.). Срок окупаемости подобного проекта составляет 2-3 года. Ориентировочный анализ, проведенный по крупным городам России и производственной базы, связанной с изготовлением оборудования для этих направлений, показал, что внедрение электрогенерирующих мощностей этого направления не превысит более 50 МВт в течение ближайших 6 лет.

Бестопливные и энергосберегающие технологии производства электроэнергии

В данном случае под термином «производство электроэнергии» в рамках сберегающих технологий следует понимать производство электроэнергии с использованием органического топлива, при котором на выработку 1 кВт-ч энергии расходуется менее 200 грамм условного топлива в виде кондиционного природного газа, мазута, дизельного топлива, угля, исключая альтернативные виды топлива (биогаз, древесные отходы и т.п.).

Наиболее крупным, имеющим минимальный срок окупаемости, является проект, связанный с установкой электрогенерирующих комплексов с противоаварийными турбинами вместо дроссельно-регулирующих устройств. Подобные

энергоблоки единичной мощностью от 0,5 до 25 МВт могут устанавливаться на предприятиях РАО «ЕЭС России», в нефтяной и газовой отраслях, металлургии, пищевой промышленности, в жилищно-коммунальном хозяйстве. Общий потенциал использования этой технологии составляет 15-17 тыс. МВт [29]. Стоимость 1 кВт установленной мощности для энергокомплекса мощностью 0,5 МВт составляет 450 USD, а для энергокомплексов мощностью более 6 МВт - 450 USD. Количество топлива для выработки 1 кВт-ч составляет 140-150 т у.т., срок окупаемости проекта для отдельной установки находится в пределах 1-2 лет.

Аналогичной по экономическим показателям является технология производства электроэнергии с установкой в качестве привода электрогенератора газовой турбины перед имеющимся паровым или водогрейным котлом - в этом случае котлы будут работать с использованием теплоты продуктов сгорания, выходящих из газовых турбин. Однако в настоящее время в России отсутствует серийное производство стационарных высокоэффективных газовых турбин. Тем не менее создаются или уже функционируют совместные предприятия с западными фирмами, такими, как АВВ, Сименс, «Дженерал электрик». Но несмотря на это резкого развития данного направления не предвидится, так как потребуется время на опытно-промышленные испытания этой технологии.

Другой крупный проект внедрения бестопливных технологий в РАО «Газпром» связан с установкой блочных электрогенерирующих комплексов единичной мощностью 6-7 МВт с конденсационными турбинами на газокomppressorных станциях магистральных трубопроводов. В качестве теплоты можно использовать энергию отработавших в газовой турбине компрессора продуктов сгорания с температурой более 350° С. Общий потенциал энергосбережения на компрессорных станциях ориентировочно составляет 4-5 млн. кВт. Экономия топлива – 8 млн т у.т. в год, стоимость 1 кВт установленной мощности – 700 USD, срок окупаемости проекта для РАО «Газпром» - 2 года.

Первые опытно-промышленные испытания энергосберегающей технологии производства электроэнергии с использованием в качестве привода электрогенератора двух газорасширительных турбин мощностью по 5 МВт, работающих на перепаде давления природного газа, показали перспективность и этого направления. Однако широкое внедрение этой технологии требует конкретных организационных мероприятий.

Все вышеназванные технологии могут быть реализованы только при наличии финансовой поддержки со стороны государства и крупных инвесторов. Таким образом, в течение 1998-2005 годов может быть введено в эксплуатацию 3000-3500 МВт подобных установок. А это, в свою очередь, обеспечит экономию органического топлива в размере 4,5-5 млн. т у.т. в год.

Вопросы нерационального использования топливных ресурсов при производстве электроэнергии

В России продолжают внедряться малоэффективные технологии производства электроэнергии, связанные с большим расходом топлива (более 350 г у.т. на 1 кВт-ч произведенной энергии) и загрязнением окружающей среды, в том числе и с использованием энергетического оборудования западных производителей. Эти технологии включают в себя:

-энергокомплексы с газовыми турбинами без теплоутилизаторов;

- энергокомплексы с чисто конденсационными турбинами малой и средней мощности, работающими за счет тепла сжигаемого кондиционного органического топлива;

- отопительные и промышленные котельные с паровыми или водогрейными котлами без электрогенерирующих комплексов.

Ограничение на использование данных видов технологий должно осуществляться с использованием государственной сертификации энергетического оборудования малой и нетрадиционной энергетики при производстве электроэнергетики с расходом топлива более 350 г у.т. на 1 кВт·ч, а также с учетом финансовых потерь, которые может понести промышленный потребитель - независимый производитель электроэнергии при подачи электроэнергии от центральной энергосистемы.

ЛЕКЦИЯ 5. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Энергосбережение в ЖКХ

В жилищном хозяйстве потребляется около 30 % тепловой энергии, получаемой от сжигания добываемого в стране твердого и газообразного топлива, и поэтому здесь экономия теплоты является важнейшей народнохозяйственной задачей, решать которую необходимо немедленно. Важность этой задачи объясняется прежде всего тем, что суммарная потребность эксплуатируемых жилых зданий в тепловой энергии примерно в 30 раз больше этой потребности для новых жилых зданий, вводимых в эксплуатацию в течение одного года, а возможности экономии теплоты в эксплуатируемых зданиях значительно больше, чем в новых.

Следует также учитывать то, что последние годы стоимость добычи и перевозки топлива значительно увеличилась: его месторождения истощаются и топливодобывающая промышленность перебазируется на восток и север, где горно-геологические условия добычи топлива более тяжелые. Необходимость перевозки его к потребителям на тысячи километров вызвала резкое увеличение капитальных вложений в газопроводы и реконструкцию железнодорожного транспорта.

Существующий перерасход тепловой энергии в эксплуатируемых жилых зданиях по сравнению с расчетным расходом сейчас в среднем оценивают в 25 % и более. Причин наличия такого большого перерасхода много: пониженные теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций – стен, заполнения световых проемов (окон и балконных дверей), совмещенных покрытий зданий; перерасход теплоты, расходуемой на нагрев наружного воздуха, проникающего в помещения через неплотности в притворах оконных переплетов и балконных дверей (из-за их большой щелистости); неотрегулированность систем отопления, что приводит к перегреву ряда помещений здания; работа котельных с низким коэффициентом полезного действия; перерасход горячей воды, поступающей из системы горячего водоснабжения в зданиях повышенной этажности, и др.

Основным мероприятием, позволяющим сократить перерасход тепловой энергии в жилых зданиях, является оснащение систем отопления и горячего водо-

снабжения приборами, автоматически регулируемыми их работу. Однако реализовать такое мероприятие будет сложно, так как выпуск указанных приборов еще невелик. Для этого потребуются не только большие капитальные вложения, но и выполнение частичной реконструкции помещений, где будут установлены приборы, а также подготовка обслуживающего персонала и организация соответствующих ремонтных баз. Поэтому в настоящее время необходимо выявить и реализовать такие энергосберегающие мероприятия, которые могут быть осуществлены более просто, без установки автоматически действующих приборов или устройств, заводское изготовление которых должно быть освоено вновь.

Обязательным и предварительным условием проведения теплосберегающих мероприятий является приведение в исправное состояние всех контрольно-измерительных приборов и арматуры систем отопления и горячего водоснабжения. Задвижки в котельных и на вводах в зданиях, а также проходные краны на стояках системы отопления должны быть отрегулированы, и положение в таком состоянии их элементов, регулирующих расход воды, должно быть зафиксировано, расход воды в нагревательных приборах необходимо привести в соответствие с расчетным расходом с помощью кранов двойной регулировки. Необходимо устранить избыточные поверхности нагрева, установленные жильцами. Проверка выполнения перечисленных мероприятий должна производиться не реже двух раз в год (в начале и в конце отопительного периода). Одновременно необходимо выявить и устранить все неисправности наружных ограждающих конструкций здания с предъявлением санкций к жильцам, не выполняющим требования экономии тепла (заклейка притворов оконных переплетов на зимний период, отсутствие в них стекло и др.).

Таким образом, имеется пять показателей, изменение которых при проведении определенных мероприятий позволяет экономить тепловую энергию и топливо. Это снижение: 1) потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции зданий (обычно такие мероприятия осуществляются при реконструкции или капитальном ремонте жилого здания); 2) количества поступающего в помещения наружного воздуха (через неплотности притворов в заполнениях световых проемов) до нормальной величины; 3) расхода тепловой энергии в системе отопления здания; 4) расхода тепловой энергии в системе горячего водоснабжения здания; 5) расхода топлива в котельных.

ЭКОНОМИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Электрическими источниками света являются лампы накаливания и газоразрядные (люминесцентные, низкого и высокого давления). Важнейшие характеристики ламп: номинальное напряжение, мощность, световой поток (мощность видимого излучения, измеряемая в люменах – *лм*) и средний срок службы. Экономичность лампы оценивают световой отдачей – значением светового потока, приходящегося на единицу мощности лампы (*лм/Вт*). Для ламп накаливания световая отдача составляет 7–19 *лм/Вт*, для люминесцентных – 40–80 *лм/Вт*.

Лампа накаливания была изобретена А.Н. Лодыгиным в 1873 г. До сих пор нет дешевого устройства с подобным спектром излучения. По этой причине наблюдается широкое применение ламп накаливания. В то же время у них имеется существенный недостаток – очень низкий КПД (в пределах 0,05). Большой популярностью в настоящее время пользуется разновидность ламп накаливания – галогенные лампы, срок службы которых достигает примерно 2000 часов и которые

характеризуются высоким значением светоотдачи. Это достигается за счет того, что в состав газового заполнения колбы галогенной лампы накаливания добавляется йод, который при определенных условиях обеспечивает обратный перенос испарившихся частиц вольфрама спирали со стенок колбы лампы на тело накала.

Газоразрядные лампы отличаются более высокой светоотдачей, так как в них электрическая энергия преобразуется в энергию оптического излучения за счет электрического разряда в газах или парах металлов. Газоразрядные лампы работают со специальными пускорегулирующими аппаратами и подразделяются на люминесцентные лампы низкого и высокого давления. Люминесцентные лампы меньше расходуют электроэнергии, срок их службы в 5 раз больше по сравнению с лампами накаливания. Однако лампы дневного света не вытеснили лампы накаливания, имеющие существенные недостатки. Создаваемый холодным свечением дискомфорт усугубляется стробоскопическим эффектом (мерцание ламп). Кроме того, пусковое устройство оборудования светильников производит шумы различной частоты, которые вызывают повышенную утомляемость организма. Дроссельная пускорегулирующая аппаратура обеспечивает возможность питания ламп дневного света от источников электротока частотой 50 Гц.

Одно из решений, устраняющих недостатки как ламп накаливания, так и люминесцентных ламп, – применение электронных пускорегулирующих устройств (ЭПРУ), обеспечивающее работу лампы дневного света со свечением частотой 20 кГц, что позволяет создавать более энергоэкономичные системы внутреннего освещения. Сокращение расхода электроэнергии происходит в результате значительного повышения напряжения питания люминесцентных ламп при помощи ЭПРУ. Так, ЭПРУ обеспечивает частоту 30-40 кГц, что обуславливает потребление лампой всего 9 Вт электрической мощности вместо 60 Вт, нужных для развития равной по величине светоотдачи ламп накаливания. Срок службы лампы возрастает до 8000 часов.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

В настоящее время расходы на отопление становятся очень высокими, а это приводит к увеличению теплового загрязнения окружающей среды, атмосферы, перерасходу драгоценного топлива. Те, кто сэкономил на теплоизоляции дома, несут в последующем неизмеримо большие расходы на отопление. Можно привести множество примеров, которые подтверждают этот факт. Если учесть ситуацию с энергоресурсами и ценами на нефть, то ситуация для Беларуси представляется очень сложной. Здания всех типов являются крупнейшими потребителями энергии (около 30-40 % потребления в Республике Беларусь). По уровню потребления энергоресурсов с ними может сравниться только промышленный сектор.

По оценкам как отечественных, так и зарубежных экспертов, потенциал экономии электроэнергии в зданиях и сооружениях равен 30–40 %, а тепловой энергии – около 50 %.

Типовая структура расхода тепловой энергии зданием, а также потенциал энергосбережения приведены на рис. 1:

- наружные стены – 30 % (потенциал 50 %);
- окна – 35 % (потенциал 50 %);
- вентиляция – 15 % (потенциал 50 %);
- горячая вода – 10 %, (потенциал 30 %);
- крыша, пол – 8 % (потенциал 50 %);

трубопровод, арматура – 2 % (потенциал 5 %).

Как видим, основное потребление связано с отоплением здания для компенсации тепловых потерь через окна, стены, крышу, пол, за счет вентиляции.

Например, частные домовладельцы в Западной Европе 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 (70 %) идет на отопление помещений (рис. 2).

В Беларуси в настоящее время строится огромное количество зданий и сооружений, поэтому необходимо уделять огромное внимание теплоизоляции и энергосбережению. Например, затраты на отопление 1 м^2 в Германии и Беларуси относятся как 1:1,25.

Необходимая для осуществления жизненных функций энергия, ее получение и использование связаны с нагрузкой на окружающую среду: добыча угля, нефти, газа, ядерного топлива, эмиссия продуктов сгорания, тепловое загрязнение окружающей среды. Основным пунктом дискуссии об окружающей среде является неизбежное появление углекислого газа после сгорания углеводных носителей энергии. Поднимаясь в атмосферу, он способствует возникновению так называемого “парникового эффекта”, который может привести к катастрофическим последствиям в будущем. Эта опасность должна быть ликвидирована или существенно снижена. Здания, которые теперь разрабатываются или модернизируются, определяют новые пределы потребления энергии и теплового давления на окружающую среду, а также цены на энергию в будущем.

Энергосберегающие мероприятия также являются средством сокращения общего энергопотребления. Несмотря на снижение мировых цен на нефть в 1990-е годы, наблюдается тенденция повышения цен на энергию, что особенно актуально для Беларуси.

Как правило, теплоизоляция домов не соответствует стандартам по тепловой изоляции.

Жилое помещение в соответствии, например, с немецкими стандартами теплоизоляции отвечает следующим параметрам:

- средний коэффициент теплопроводности стен – $0,66 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- норма воздуха обмена – 0,8 раз/час;
- КПД приборов отопления – 80 %;
- годовая потребность тепла – $26200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
- годовое потребление тепла на 1 м^2 – $140 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

При применении современной строительной и теплозащитной технологии появляется возможность удержать годовое потребление энергии в пределах $30\text{--}70 \text{ кВт} \cdot \text{ч/ м}^2$ полезной площади. Это примерно соответствует потреблению 3–7 л нефти или $3\text{--}7 \text{ м}^3$ газа на 1 м^2 жилой площади в год.

Между тем Швеция уже давно имеет более жесткие требования по энергосбережению, чем другие страны Западной Европы. Так, потребление тепла на 1 м^2 жилого пространства по нормам там составляет 60–70 кВт ч.

Коэффициент теплопередачи (КТП) – единица, которая обозначает прохождение теплового потока мощностью 1 Вт сквозь элемент строительной конструкции площадью 1 м^2 при разнице внутренней и внешней температуре в 1 Кельвин . Так, для жилого дома:

- потолок (12 см изоляции) – $\text{КТП} = 0,35$;

- пенобетон 30 – 36 см или легкий кирпич – КТП = 0,66;
- пол (5 см теплоизоляции) – КТП = 0,68;
- теплоизолированные окна – КТП = 0,3.

Годовой приток и потери энергии обычного дома составляют:

- приток солнечной энергии – 6700 кВт·ч;
- внутренние источники тепла – 2700 кВт·ч;
- вентиляция – 7700 кВт·ч;
- потери через окна – 9000 кВт·ч;
- потери через пол, подвал – 3100 кВт·ч;
- потери через стены – 6600 кВт·ч;
- потери через крышу – 4000 кВт·ч;
- потери через систему вентиляции – 5200 кВт·ч.

В виде стандарта рассматривается дом с низким энергопотреблением (ДНЭ) – это такое сооружение, которое потребляет немного тепловой энергии, меньше 70 кВт·ч/м² в год (от 70 до 30 кВт·ч/м²). Это соответствует годовому потреблению тепловой энергии от 300–700 м³ газа при жилой площади 100 м². Кроме этого, ДНЭ отличается также малым потреблением энергии для обеспечения горячей водой.

Низкое энергопотребление зданием обеспечивают:

- хорошие теплоизолирующие свойства строительных элементов (стен, окон, крыши, пола, подвала);
- добросовестное выполнение изоляции: недопущение теплопотерь; плотная оболочка строения (защита от ветра и т.п.);
- пассивное использование солнечной энергии и ее аккумулирование, суточное или сезонное;
- управляемый воздухообмен (по возможности – возвращение тепла);
- хорошо регулируемые отопительные устройства;
- энергоэкономное обеспечение горячей водой, возможно, посредством солнечной энергии в летнее время;
- устранение бесполезных расходов электроэнергии.

ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Изоляционные свойства материала характеризуются значением теплопроводности λ , измеряемой в Вт/(м·К).

Хороший изолятор – это материал, у которого низкое значение теплопроводности. Существует ряд причин, по которым пенополиуретаны (ППУ) широко используются в изоляции труб для централизованного теплоснабжения, среди них:

- высокая механическая прочность;
- хорошая термостойкость;
- возможность наполнения узких пространств;
- низкое водопоглощение.

Так как полиуретановая пена является превосходным изоляционным материалом, ее применение позволяет эффективно снизить потери тепла во время транспортировки горячей воды или пара в предизолированных трубах централизованного теплоснабжения.

Пенополиуретан содержит от 92 до 98% закрытых пор, которые заполнены изоляционными газами. Только от 8 до 2% пенополиуретанов включают твердый

полимер. Содержание твердого полимера определяется плотностью ППУ: чем выше плотность ППУ, тем выше процент твердого полимера. Закрытые поры заполнены газом, который образуется во время производства полиуретановой пены.

Существует возможность воздействия на структуру пор путем использования различных вспенивающих агентов. Это влияет на термостойкость пены, так как структура газа определяет конечную термическую проводимость ППУ до 60%. Можно снизить термическую проводимость ППУ и путем заполнения пор лучшим изоляционным газом.

Качество теплоизоляции является важнейшим параметром энергопотребления здания. Коэффициент теплопередачи должен находиться в пределах: от 0,3 кВт/(м²·К) до 0,2 кВт/(м²·К). Это соответствует увеличению средней толщины утепляемого слоя от 15 до 20 см. Этих значений можно добиться во всевозможных конструкциях зданий и сооружений, 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) однослойная кладка из низкотеплопроводного материала, оштукатуренная с двух сторон (например, прессованный соломенный или газобетонный блок минимальной толщиной 49 см).

Следует отметить, что значительно улучшенная тепловая защита является условием экологически чистого относительно существования строения. Среди теплоизоляторов-наполнителей существуют определенные отличия, например, широко используемый пенопласт не вполне безопасен. Предпочтение следует отдавать природным, экологически чистым материалам (аглопорит, керамзит, перлит и др.), которые получают из отходов производства при разработке карьеров, например, суглинки.

Перечень мероприятий по утеплению ограждающих конструкций представлен в табл. 15.

Таблица 15

Мероприятия по утеплению ограждающих конструкций

Мероприятия	Затраты, у.е./м ²	Сбережение, %
Устранение перетечек холодного воздуха за счет простого утепления окон и дверей	минимальны <1	10
Тройное остекление (сокращает приток УФ радиации) или натяжка полиэтиленовой пленки на рамы	3	5-10
Специальные шторы на окна	15	15-20
Утепление чердака: дополнительная изоляция толщиной 100 – 150 мм	20-30	4-7
Утепление участка стены за радиатором	минимальны	2-3

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСТЕКЛЕНИЯ И СТЕКЛОПАКЕТЫ

В идеале заполнения оконных проемов должны обладать такими же характеристиками по защите от шума, потерям тепла и прочности, как и стеновые ограждающие конструкции, обеспечивая при этом необходимую освещенность, комфортное проветривание, простоту и удобство в эксплуатации.

Сопротивление теплопередаче применяемых окон должно быть не ниже установленного в Республике Беларусь показателя $R_0 > 0,6 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (R_0 - величина, обратная коэффициенту теплопроводности), что соответствует значению КТП не более $1,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / \text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 на 15–20 % дороже обычных, и эти затраты компенсируются экономией на отоплении. Оконная рама должна иметь утепляющий слой как с наружной, так и с внутренней стороны. Если этого нет, следует предусмотреть термическое разделение. Сейчас для заполнения оконных проемов широко применяются стеклопакеты. Стеклопакет представляет собой изделие, состоящее из двух или более слоев стекла, соединенных между собой по контуру таким образом, что между ними образуются герметически замкнутые полости, заполненные обезвоженным воздухом или другим газом.

Сопротивление теплопередаче одного обычного стекла составляет примерно $0,17 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а стеклопакета из двух обычных стекол – $0,36 - 0,39 (\text{м}^2 \text{ К})/\text{Вт}$. Приведенное сопротивление теплопередаче трехстекольного окна, с учетом материала, из которого оно изготовлено, может достигать значения, превышающего $0,6 (\text{м}^2 \text{ К})/\text{Вт}$. Наибольший эффект достигается при использовании в стеклопакете одного из стекол с селективным покрытием, способным отражать тепловые волны внутрь помещения и одновременно пропускать снаружи солнечное тепловое излучение. Только за счет применения в стеклопакете такого стекла, а также введения в межстекольное пространство более плотного, чем воздух, газа, например, аргона, криптона или ксенона, можно добиться величины термического сопротивления, приближающейся к единице. Исследования показывают, что конструктивные решения окон и, прежде всего, их стеклянной части смогут способствовать достижению термического сопротивления теплопередаче, равного $1,8-2,0 (\text{м}^2 \text{ К})/\text{Вт}$.

Традиционная технология изготовления стеклопакетов сводится к соединению на определенном расстоянии друг от друга двух или трех стекол. В качестве материала, обеспечивающего требуемое межстекольное расстояние, применяется алюминиевый перфорированный профиль коробчатого сечения (средник), внутрь которого засыпается зернистый осушитель воздуха – силикогель. Профиль крепится к стеклам с помощью бутиловой массы (внутренний шов), а по торцам образованного стеклопакета укладывается прочная полисульфидная масса (наружный шов). Методы производства стеклопакетов постоянно совершенствуются. Например, известен метод, когда промежуточное пространство (средник) заполняется при помощи бутиловой резиновой ленты, упрочненной металлом. Необходимо отметить, что материал, из которого сделан средник, оказывает влияние на теплоизолирующие свойства краев стеклопакета (рис. 74).

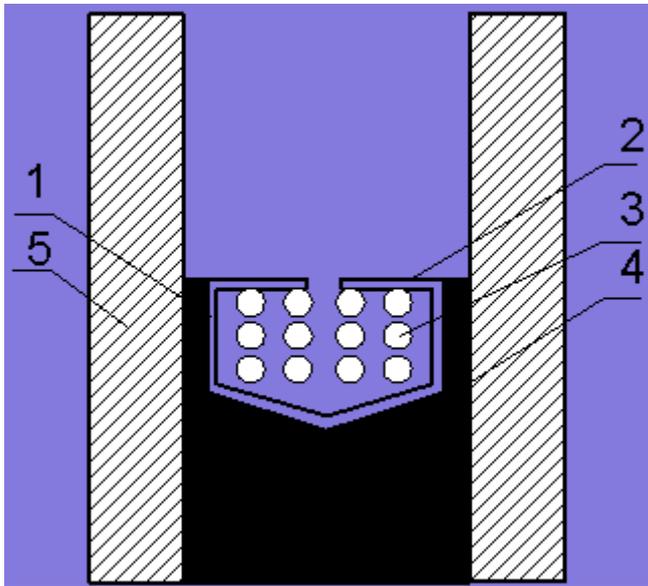


Рис. 74. Принципиальная схема конструкции традиционного изолирующего стеклопакета:

1 – внутренний шов; 2 – средник; 3 – осушитель; 4 – наружный шов; 5 - стекло

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Основной особенностью существующих систем отопления является то, что они рассчитаны на постоянный расход теплоносителя. Регулирование поступления теплоносителя в нагревательные приборы потребителей может привести к нарушению гидравлического режима системы отопления. Для предотвращения перегрева помещений в переходные периоды отопительного сезона (весной и осенью), а также разрегулирования системы отопления необходимо провести изменения схемы теплового узла, прежде чем устанавливать индивидуальные средства регулирования (автоматические или ручные) в зданиях (у жильцов).

Рассмотрим пример такой системы отопления, удовлетворяющей вышеприведенным требованиям (рис. 75).

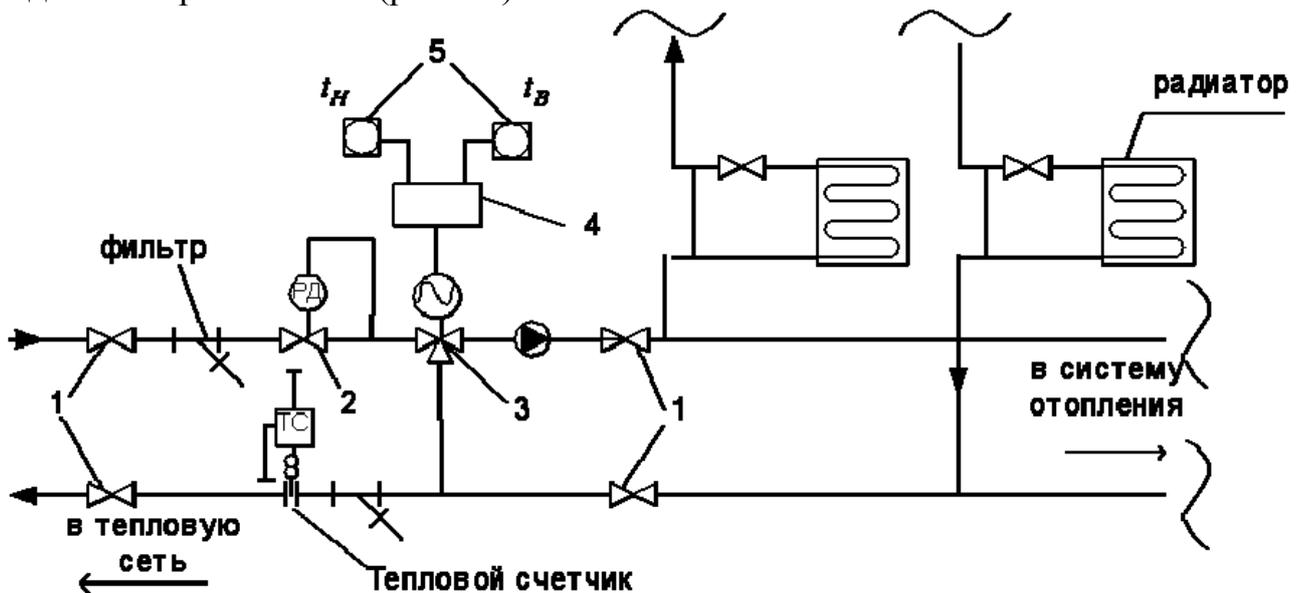


Рис. 75. Схема усовершенствованной системы отопления: 1 – запорные задвижки; 2 – регулятор давления; 3 - трехходовой клапан; 4 – блок управления; 5 – датчики температуры

На тепловом узле должны быть установлены:
запорная арматура (краны, задвижки);

фильтры механической очистки;

автоматические регуляторы температуры воды, подаваемой на каждый фасад здания, работающие в зависимости от температуры наружного и внутреннего воздуха (для этого система должна быть разделена на две половины: южную и северную);

циркуляционный насос;

регулятор расхода (давления).

Трубы, задвижки и другие элементы должны быть изолированы.

В здании на радиаторах устанавливаются:

индивидуальные средства регулирования (ручные либо термостатические вентили);

счетчики-распределители тепла, предназначенные для оценки индивидуального энергопотребления.

Мероприятия по совершенствованию систем отопления представлены в табл. 16. Из таблицы видно, что наиболее эффективными являются автоматизация теплового узла и установка ручных регуляторов на каждом отопительном приборе, которые обеспечивают наименьший срок окупаемости затрат.

Для обеспечения надежной работы все системы должны проектироваться индивидуально, с предварительным энергетическим обследованием.

В последнее время получили распространение электронные системы регулирования. Типичная схема одной из таких систем приведена на рис. 76.

Основными элементами таких систем являются блок регулирования, подмешивающий циркуляционный насос и регулирующий клапан. Они позволяют обеспечить суточное регулирование подачи теплоносителя в двух режимах. Их недостаток – отсутствие гибкости при программировании недельных и годовых циклов и отсутствие защиты от несанкционированного вмешательства в работу.

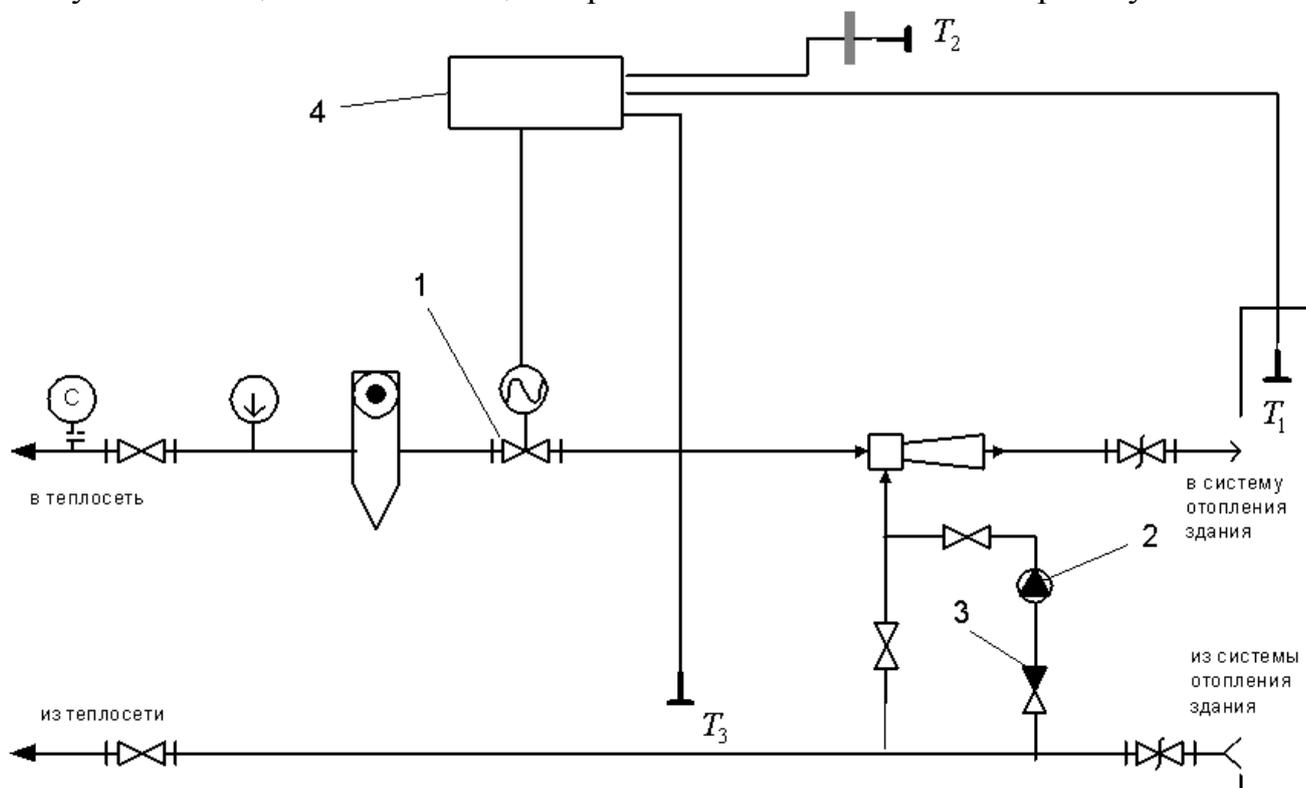


Рис. 76. Типичная схема электронной системы регулирования:

1 – задвижка; 2 – ЦН; 3 – обратный клапан; 4 – блок управления

Таблица 16
 Мероприятия по совершенствованию систем отопления

Мероприятия	Затраты, у.е./ м ²	Сбережение, %	Окупаемость, лет
Автоматизация теплового узла	4000	15 – 20	1,5
Установка надежных ручных регулировочных кранов на каждом нагревательном приборе	10	5 - 7	1,5
Установка автоматических термостатических кранов	40	10	9,3

Одним из удобных, наиболее гибких по своим функциям устройств является семейство регуляторов ДИТ–541 и ДИТ–520, разработанных в НИПТИС Минстройархитектуры. Эти устройства выполнены на основе однокристалльных микроЭВМ. Они имеют программируемый календарь с возможностью учета выходных и праздничных дней и гибкое программирование режимов работы. Изменяя степень закрытия клапана, устройство регулирует температуру подаваемого в здание теплоносителя. Постоянство объема циркуляции теплоносителя достигается наличием циркулирующего насоса. Управляется и программируется устройство с помощью инфракрасного пульта ручного управления, что обеспечивает полную защиту от несанкционированного доступа. Датчики температуры, выполняемые на основе микросхем, позволяют вести опрос любого количества датчиков по трехпроводной линии. С помощью стандартного интерфейса RS485 можно объединять устройства в сеть и программировать их работу с центральной ЭВМ. Устройство ДИТ–541 позволяет выполнять независимое регулирование трех контуров теплоснабжения.

На рис. 77 приведен график изменения температуры в помещениях в течение двух суток при автоматическом регулировании теплоснабжения с учетом температурной инерционности здания.

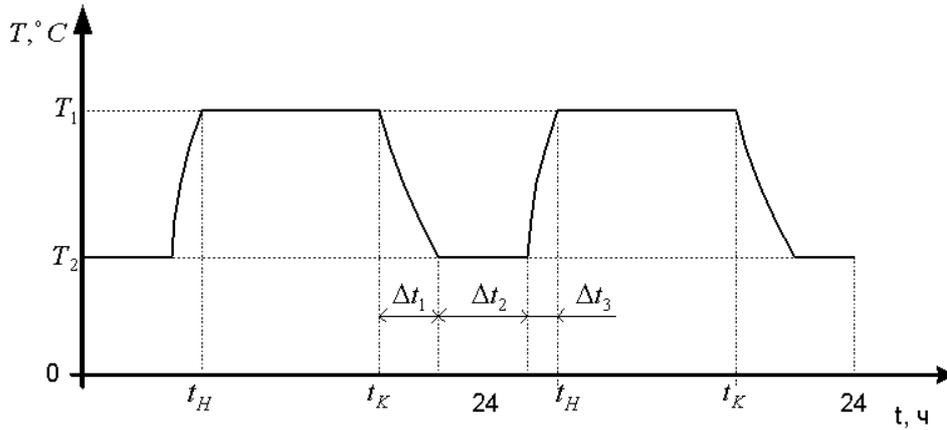


Рис. 77. График изменения температуры в помещении при регулировании теплотребления: T_1 – комфортное значение температуры; T_2 – поддерживаемое значение температуры, предотвращающей размораживание системы отопления; Dt_1 – время остывания помещения; Dt_2 – время работы системы в дежурном режиме; Dt_3 – время опережения включения системы отопления на разогрев здания с тем, чтобы к началу рабочего времени (t_H) температура в помещении достигла комфортного значения

Для того чтобы температура в помещении соответствовала графику на рис. 77, график изменения теплоносителя, потребляемого системой отопления, должен иметь вид, приведенный на рис. 78. Из рис. 78 следует, что в течение суток есть интервал времени (Dt_1), когда система отопления не потребляет тепловой энергии, интервал времени (Dt_2), когда система потребляет только часть энергии по сравнению с режимом работы без регулирования, интервал времени (Dt_3), когда система отопления потребляет больше тепловой энергии, чем в обычном режиме.

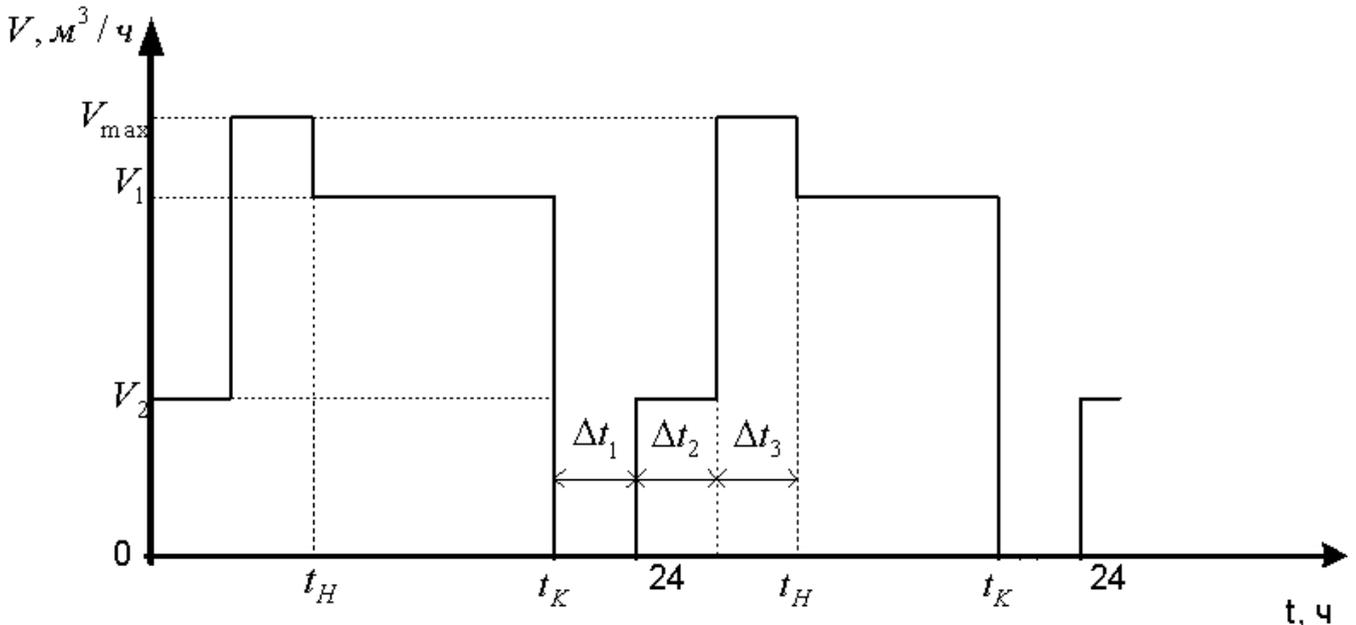


Рис.78. График изменения количества теплоносителя, потребляемого системой отопления при регулировании:

V_{max} – максимальное количество теплоносителя, которое можно взять от системы центрального отопления; V_1 , V_2 – количество теплоносителя, необходимое для поддержания температур T_1 и T_2 соответственно; Dt_1 , Dt_2 , Dt_3 – как на рис. 6

Учитывая, что значительная часть отопительного сезона в Республике Беларусь имеет положительную температуру наружного воздуха, можно утверждать, что автоматическое регулирование расхода теплоносителя позволит сэкономить не менее 15 % тепловой энергии за отопительный сезон. Для зданий, которые потребляют за отопительный сезон 1000 и более Гкал тепловой энергии, при нынешней стоимости энергоресурсов окупаемость программируемых устройств автоматического управления теплоснабжением составляет 2-3 месяца отопительного сезона.

АВТОНОМНЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Последнее время широко применяются газовые отопительные приборы для квартир, особняков, офисов, магазинов, мастерских, коммунальных сооружений. Приборы монтируются на стену и подключаются к дымоходу, благодаря чему производится нагрев воды и отопления зданий. Преимущества таких приборов – это энергоэкономичность, рентабельность, равномерное отопление, чистота и удобство эксплуатации, простота в обращении.

Постоянная температура отопительной воды обеспечивается термостатом. Эффективная циркуляция и давление воды с помощью насоса дают возможность применять трубы небольшого диаметра. Тепловая энергия сожженного на горелке газа передается воде, циркулирующей от насоса через теплообменник и через радиаторы, подключенные к нему, а затем передается воздуху в помещение.

На ЗАО “Амкодор” (Республика Беларусь) производят эффективные системы отопления, основанные на отоплении мягким инфракрасным излучением, которые, в отличие от конвективного способа обогрева, позволяют снизить на 90 % потребление энергоресурсов. Работа систем основана на принципе преобразования теплоты сгорания газа в тепловые лучи без промежуточных теплоносителей (вода, пар). Источниками инфракрасного излучения служат специальные теплоизлучающие трубы, внутри которых циркулируют высокотемпературные газы низкого давления.

В последние годы в Республике Беларусь различными фирмами производится большое количество энергоэкономичных газогенераторных установок, котлоагрегатов, которые предназначены для теплоснабжения зданий и сооружений, получения горячей воды и пара в различных технологических процессах и для бытовых нужд. Основным топливом для них служат отходы деревообработки, мелочь торфяных брикетов, щепа, кора, лигнин и другие твердые горючие материалы. Преимуществом вышеуказанных агрегатов является их высокий КПД, низкая стоимость, простота конструкций и обслуживания, а также возможность использования дешевых местных видов топлива и отходов промышленности.

БЫТОВЫЕ ПРИБОРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И УЧЕТА ПОТРЕБЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Не имея счетчика, нельзя судить, насколько эффективны мероприятия по снижению энергопотребления. Сам по себе счетчик не снижает потребление, однако создает стимул к сбережению энергии. За счет установки счетчика, а также правильных расчетов с поставщиком энергии, по результатам анализа статистических и фактических данных снижается сумма оплаты за тепловую энергию на 20–30 %.

В настоящее время получили распространение приборы для учета расхода жидкости, газа и тепла. Ввиду особой актуальности бытового энергосбережения и связанного с ним учета энергоресурсов в Республике Беларусь обеспечено их про-

изводство. Так, в Минске среднесуточная подача воды составляет 770000 м^3 , а установленная электрическая мощность оборудования для подачи воды составляет около 50000 кВт , удельный расход электроэнергии на “производство” 1 м^3 воды равен $0,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. При потреблении воды без учета считается, что каждый житель потребляет в день 120 л горячей воды и 180 л холодной воды. Для учета расхода воды применяют крыльчатые и турбинные водосчетчики, технические требования которых изложены в ГОСТ 60019-83, ГОСТ 14167-83, ГОСТ 8156-83. В приложении приведены основные характеристики водосчетчиков различных типов.

Для учета расхода газа в квартирах и на дачах применяются бытовые счетчики ротационного типа РЛ-2,5, РЛ-4, РЛ-6, которые обеспечивают надежную работу при пульсирующих давлениях газа.

Известно, что чрезмерный расход тепла сказывается на себестоимости продукции, поэтому эффективный учет тепла возможен с помощью теплосчетчиков, среди которых известен “Струмень-ТС400”, его работа основана на электромагнитном принципе без механических устройств. Данные теплосчетчики используются в системах отопления и горячего водоснабжения. В комплект входят расходомер, термосопротивления и процессор. Диапазон измерения температур теплоносителя – $5\text{-}180 \text{ }^\circ\text{C}$, диапазон измерения расхода теплоносителя $0,2\text{-}120 \text{ м}^3/\text{ч}$, диаметр условного прохода трубы $20\text{-}80 \text{ мм}$.

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБЫТОВЫХ ПРИБОРОВ

Выбор и использование наиболее экономичных электроприборов позволяет существенно экономить электроэнергию.

Электроплиты. Они являются самым энергоемким потребителем электроэнергии. Годовое потребление электроэнергии одной электроплитой составляет $1200\text{-}1400 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Их применение вместо газовых плит и плит на твердом топливе существенно улучшает санитарно-гигиенические условия на кухне и в доме (отсутствие угарного газа). Для экономии энергии необходимо своевременная смена неисправных конфорок, для улучшения теплопередачи – плотный контакт используемых для нагрева поверхностей, применение специальной посуды и другие мероприятия.

Холодильники. Следует отметить, что компрессорный холодильник в зависимости от объема потребляет $250\text{-}450 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, а абсорбционный – $500\text{-}1400 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в год. Экономичность их использования зависит от режима работы и соблюдения правил эксплуатации. Бытовые холодильники рассчитаны на работу в сухом, отапливаемом помещении при температуре окружающего воздуха $16\text{-}32 \text{ }^\circ\text{C}$.

Стиральные машины. Наиболее энергоэкономичными являются автоматические машины, включение и выключение которых производится по программе.

Утюги с регулированием температуры. Установлено, что оптимальная температура глажения ($^\circ\text{C}$): для изделий из искусственного шелка являются $85\text{-}115$, шерсти – $140\text{-}165$, натурального шелка – $115\text{-}140$, хлопчатобумажной ткани – $165\text{-}190$, льняной – $190\text{-}230$. Использование этих данных позволяет повысить производительность труда на $40\text{-}60 \%$, а расход электроэнергии снизить на $20\text{-}25\%$.

Пылесосы. Для эффективной работы пылесоса большое значение имеет хорошая очистка пылесборника, что улучшает тягу воздуха.

Бытовые кондиционеры. Для внутриквартирного использования часто применяется кондиционер типа БК-1500, который эффективно работает при закрытых форточках и дверях.

Радиотелевизионная аппаратура. Для ее эффективной работы необходимы своевременное охлаждение и систематическая очистка от пыли.

Энергетика и окружающая среда

Энергетика тесно переплетается с экологическими проблемами, корни которых не только в стремительном истощении запасов органического топлива и связанных с этим последствий, но и в губительном загрязнении окружающей среды продуктами сгорания энергетического топлива и содержащимися в нем вредными примесями. «Тепловое загрязнение» планеты, «парниковый эффект», «кислородное голодание», «канцерогенная угроза» - вот далеко не полный набор бед, которыми расплачивается человечество за предоставляемый цивилизацией комфорт.

Проблемы отыскания соответствующих видов энергии всегда интересовали человечество, однако столь волнующими, как сегодня, они не были никогда. Мировое потребление энергии стало соизмеримым с запасами горючих ископаемых - базой современной энергетики. То, что природой создавалось на протяжении геологических эпох (миллионов лет), расходуется в течение нескольких десятилетий. Если до 1980 года всего в мире было добыто 150 млрд. т н э (условного топлива в нефтяном эквиваленте), то за 20 последних лет XX века предполагается использовать почти в 1,2 раза больше, что грозит не только исчерпанием легкодоступных дешевых месторождений, но и серьезными экологическими осложнениями [7].

Во всем мире для производства электрической и тепловой энергии используется органическое топливо, атомная и гидроэнергия. При условии, что энергоресурсы будут потребляться все возрастающими темпами, называются следующие приблизительные сроки их полного израсходования: уголь — в конце XXII века; нефть и газ — в конце XXI века; уран — в середине XXI века.

Гидроэнергия относится к возобновляемым видам энергии, но и ее освоение закончится к началу XXI века.

Однако некоторые футурологи считают, что раньше, чем человечество сожжет последний килограмм топлива, оно израсходует последний килограмм кислорода. По имеющимся расчетам, расход кислорода быстро растет. Так, если в 1960 году на сжигание всех видов топлива понадобилось 1,3 млрд. тонн кислорода, то в 1980 - уже 12 млрд. тонн, а в 2000 году энергетика поглотит не менее 60 млрд. тонн кислорода атмосферы.

Кроме проблемы ограниченности природных ресурсов имеется и ряд других негативных последствий использования органического топлива на окружающую среду. Так, извлечение нефти и природного газа ведет к оседанию почвы. Нефть и газ, скопившиеся в пористых породах под поверхностью Земли, служат своеобразной «подушкой», поддерживающей лежащую сверху породу. Когда эта «подушка» извлекается, земная поверхность в районе залегания нефти и газа опускается на глубину до 10 метров. Кроме того, извлечение из земных недр полезных ископаемых ведет к перераспределению гравитационного напряжения в земной коре, которое иногда оканчивается землетрясениями.

В процессе сжигания топлива образуется много побочных веществ. При сжигании угля образуется значительное количество золы и шлака. Большую часть золы можно уловить, но не всю. Все отходящие газы потенциально вредны, даже пары воды и диоксид углерода CO_2 . Эти газы поглощают инфра-

красное излучение земной поверхности и часть его вновь отражают на Землю, создавая так называемый «парниковый эффект». Если уровень концентрации CO_2 в атмосфере Земли будет увеличиваться, могут произойти глобальные климатические изменения.

При сжигании топлива образуется теплота, часть которой выбрасывается в атмосферу, приводя к тепловому загрязнению атмосферы. Это, в конечном итоге, вызывает повышение температуры водного и воздушного бассейнов, таяние ледников и тому подобные явления. Весь этот процесс накопления теплоты может привести к ощутимому повышению температуры на Земле, если использование энергии будет продолжать расти такими же темпами, как сейчас. В свою очередь, повышение температуры может вызвать глубокие изменения климата на всей Земле.

Таким же катастрофическим может быть эффект от поступления в атмосферу большого количества твердых частиц. В табл. 7 приводятся количественные данные о различных веществах, образующихся при работе типовой ТЭС мощностью 1000 МВт на органическом топливе [9].

Таблица 7

*Выбросы загрязняющих веществ при работе ТЭС
мощностью 1000 МВт*

Загрязняющее вещество	Количество за год
SO_x , т	1 100
N_xO_x , т	350
CO_2 , т	72500
CO , т	94
Твердые частицы, т	300
Радиоактивность *, Бк	259
Дымовые газы, ГДж	1350
Теплота от конденсата, ГДж	4 050

* Радиоактивность дают, главным образом, изотопы радия ^{235}Ra и ^{238}Ra . Приводятся данные для угля. Для нефти этот показатель в 50 раз меньше.

Загрязнение оксидом серы

Наиболее загрязнено соединениями серы северное полушарие. При сжигании топлива в атмосферу выбрасывается SO_2 , который потом окисляется до SO_3 . Основные источники: сжигание угля и нефти, обжиг или выплавка сернистых руд.

Причем выбросы диоксида серы, обусловленные работой теплоэнергетических установок, сжигающих органическое топливо, превышают 100 млн. т в год. Если бы человечеству удалось уловить третью часть этих выбросов и получить из них товарную серу, то можно было бы закрыть все добывающие и перерабатывающие предприятия. Попадая в атмосферу, диоксид серы подрывает здоровье

людей, угнетает животный и растительный мир, ускоряет коррозию и разрушение машин, механизмов, зданий и сооружений.

Изучение историй болезни большого числа городских жителей ясно показывает, что в городских районах с самым сильным загрязнением воздуха наблюдается наибольшее число заболеваний органов дыхания и наиболее низкая средняя продолжительность жизни.

Известно, что все виды угля и нефти характеризуются различным содержанием в них серы. В связи с требованиями к снижению загрязнения воздуха SO_2 нефть с низким содержанием серы пользуется большим спросом и поэтому продается по более высокой цене. Угли, содержащие пониженное количество серы, имеют более низкую удельную теплоту сгорания, поэтому в расчете на единицу выделяемой теплоты различие в содержании серы нивелируется.

Ущерб также наносит триоксид серы SO_3 , образующийся при окислении SO_2 .

Диоксид серы нелегко окисляется в чистом воздухе. Однако в присутствии пылеобразных частиц оксидов металлов под воздействием O_2 диоксид серы очень быстро превращается в SO_3 . Реакция протекает на поверхности частиц, которые играют роль гетерогенного катализатора. В газах, выбрасываемых ТЭС, содержится значительное количество тонкоизмельченных твердых веществ — золы, находящейся во взвешенном состоянии в воздухе.

Окислению SO_2 , кроме того, способствует наличие в воздухе капелек влаги, т. е. тумана или облаков; известно, что растворенный в воде SO_2 окисляется довольно быстро.

Еще одной возможностью превращения SO_2 в SO_3 является фотохимическое окисление. Соединяясь с водой, оксиды серы образуют серную и сернистую кислоты, которые, взаимодействуя с пылевыми частицами, образуют сульфаты и сульфиды.

Накопление кислот и сульфатов в атмосфере приводит к выпадению кислотных осадков. В настоящее время, плотность дождевой воды над промышленными районами превышает норму в 10-1000 раз. Изменение рН атмосферных вод наиболее сильно сказывается на действии ферментов и гормонов живых организмов. Крупные виды в меньшей степени страдают от изменения рН, т.к. их защищает кожа. Наиболее сильно на кислотность воды реагирует молодь. В подкисленных водных экосистемах все организмы быстро вымирают или из-за прямого воздействия ионов водорода или из-за невозможности разложения или из-за отравления вредными веществами, образующимися из-за действия кислот на почву.

Кислотность такого дождя обусловлена главным образом присутствием серной и азотной кислот. Из-за выпадения кислых дождей во многих пресноводных озерах уменьшилось количество обитающих там рыб, что, в свою очередь, оказало ощутимое воздействие на другие звенья экологической цепочки. Кислые дожди сильно корродируют металлы, нарушают целостность покрытий из красок и других материалов, разрушают мрамор, строительные детали, в составе которых содержится CaCO_3 и др.

Больше всего страдают кислые подзолистые почвы, широко распространенные в центральных и северных районах нашей страны. Чтобы нейтрализовать кислотные осадки, приходится дополнительно проводить известкование почв, т. е. ежегодно вносить около 1,5 млн. т извести. Эти затраты оцениваются

примерно в 40 млн. руб. (в ценах 2000 г.). Если же ущерб оценивать по стоимости потерянного урожая, то он будет в 2—3 раза больше.

Хорошо видны и изменения лесных экосистем. Ухудшается возобновление хвойных пород деревьев, чаще всего они замещаются лиственными породами. Так, в Архангельской и Московской областях в сосново-березовых лесах средний прирост сосны за 100 лет превышает средний прирост березы всего на 10 %. Сосна чувствительна к диоксиду серы, береза — в гораздо меньшей степени. Имеющиеся оценки показывают, что тип лесного фитоценоза должен изменяться уже при содержании диоксида серы в воздухе, равном 20—25 мкг/м³, а эта величина уже близка к нынешнему европейскому региональному уровню. У особо чувствительных видов хвойных деревьев снижается скорость прироста, усыхают дубравы (дубовые леса). Этот процесс затронул сегодня многие европейские страны.

Оксиды азота

Основными источниками выбросов оксидов азота в атмосферу являются двигатели внутреннего сгорания (ДВС), автотранспорт, авиация, ТЭС, ТЭЦ, металлургия и другие отрасли промышленности.

Часть NO₂, растворяясь в парах воды, превращается в азотную кислоту. Кислотные дожди.

Под воздействием ультрафиолетовых лучей оксид и диоксид азота превращаются друг в друга с образованием атомарного кислорода и азота. Атомарный кислород и озон вступают в соединение с углеводородами с образованием свободных радикалов — молекул, с незаполненными связями, вследствие чего обладающие высокой химической активностью. Свободные радикалы взаимодействуют друг с другом и с веществами, находящимися в атмосфере, образуя вторичные загрязнения — фотохимический смог.