

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

А. В. Васюков

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Лекции

Новополоцк
ПГУ
2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Раздел № 1. Энергия и ее роль в жизни общества	5
Раздел № 2. Топливо-энергетические ресурсы	21
Раздел № 3. Традиционные способы получения тепловой и электрической энергии	39
Раздел № 4. Нетрадиционные источники энергии	54
Раздел № 5. Вторичные энергоресурсы.....	120
Раздел № 6. Транспортирование, распределение и потребление энергоресурсов.....	148
Раздел № 7. Энергосбережение в зданиях и сооружениях	155
Раздел № 8. Энергосбережение в быту	167
Раздел № 9. Приборы контроля и учета энергоресурсов, тепловой и электрической энергии	185
Раздел № 10. Энергетика и окружающая среда	192
Раздел № 11. Экономика энергетики и энергосбережения	223
Раздел № 12. Основные положения нормативно-правовой базы энергопотребления и энергосбережения	252
Раздел № 13. Основы энергетического менеджмента и аудита	260

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня практически любая область инженерной деятельности во многом связана с проблемами энергосбережения, разработкой, внедрением и эксплуатацией ресурсосберегающих технологий, вопросами трансформации и передачи энергии. Учебная дисциплина «Основы энергосбережения» призвана вооружить будущего специалиста знаниями общих законов и основанных на этом инженерных методик расчета процессов, возникающих при получении, трансформации и передаче энергии.

Уровень материальной, а в итоге и духовной культуры людей находится в прямой зависимости от количества энергии, имеющейся в их распоряжении, и их умения эффективно использовать эту энергию. Потребление энергии является необходимым условием осуществления любого действия, процесса, свершения.

Структура мирового энергохозяйства на сегодня сложилась так, что 80 % потребляемой электроэнергии получается при сжигании органического топлива на электростанциях, где химическая энергия топлива превращается сначала в тепло, теплота – в работу, а работа – в электричество. Ощутимый процент дает и гидроэнергетика (около 15 %). Остальное покрывается другими источниками, в основном – атомными электростанциями.

Потребности человека растут, людей становится все больше, и это вызывает гигантские объемы производства энергии и темпы роста ее потребления. Сегодня традиционные источники энергии (различные топлива, гидроресурсы) и технологии их использования уже не способны обеспечивать требуемый уровень энерговооруженности общества, потому что это невозобновляемые источники. И хотя разведанные запасы природных топлив очень велики, проблема истощения природных кладовых при нынешних и прогнозируемых темпах их разработки переходит в реальную и недалекую перспективу. Уже сегодня ряд месторождений из-за истощения оказывается непригодным для промышленной разработки, и за нефтью и газом, например, приходится идти на труднодоступные, отдаленные территории, океанские шельфы и т. п. Прогнозисты доказывают, что при сохранении нынешних объемов и темпов роста энергопотребления в 3... 5 % (а они, без сомнения, будут еще выше) запасы органических топлив полностью иссякнут через 150 – 200 лет.

Другим фактором, ограничивающим значительное увеличение объемов выработки энергии за счет сжигания топлива, является все возрастающее загрязнение окружающей среды отходами энергетического производства. Эти отходы значительны по массе и содержат большое количество различных вредных компонентов. Так, при производстве 10^6 кВт/ч электроэнергии на современной электростанции, работающей на твердом топливе, в окружающую среду сбрасываются: 14 000 кг шлака, 80 000 кг золы, 1 000 000 кг диоксида углерода, 14 000 кг диоксида серы, 4 000 кг окислов азота, 100 000 кг водяных

паров, а также соединения фтора, мышьяка, ванадия и других элементов. А ведь количество вырабатываемой в год электроэнергии исчисляется сотнями и тысячами миллиардов киловатт-часов! Отсюда – кислотные дожди, отравления сельхозугодий и водоемов и тому подобные явления. Причем природа уже не в состоянии естественными физико-химическими и микробиологическими способами переработать эти загрязнения и самовосстановиться.

В ядерной энергетике возникают экологические проблемы другого рода. Они связаны с необходимостью исключить попадание ядерного горючего в окружающую среду и надежным захоронением ядерных отходов, что при современном уровне развития техники и технологий весьма затруднено. Не менее вредным является и тепловое загрязнение окружающей среды, способное привести к глобальному потеплению климата Земли, таянию ледников и повышению уровня мирового океана.

Стремление решить эти и другие проблемы наблюдается с начала развития «большой» энергетике. Оно реализуется как в поисках других первичных энергетических источников (электрохимические и термоядерные преобразователи), так и в разработке новых способов преобразования энергии первичных источников в электрическую, например, в термоэлектрических или термоэмиссионных устройствах, МГД-генераторах.

В свете изложенного, все более актуальным становится широкое практическое использование так называемых нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, которые ко всему прочему являются еще и экологически чистыми. К таким источникам относятся солнечная энергия, энергия ветра, энергия морских волн и приливов, энергия биомассы, геотермальная энергия и др. Природа каждого из этих источников энергии неодинакова, различны и способы их применения и использования. Вместе с тем им свойственны и общие черты, в частности, малая плотность потока генерируемой энергии, обуславливающая необходимость ее аккумуляирования и резервирования.

В обозримом будущем основным источником энергии останутся углеводородные топлива и ядерное горючее. Но человечество уже приближается к такому пределу повышения суммарной мощности традиционных энергоустановок, преодоление которого неизбежно повлечет экологическую катастрофу. Поэтому современная «нетрадиционная» энергетика – это тот резерв, который дает возможность преодолеть многие неразрешимые проблемы и обеспечить возрастающие потребности человека в будущем. По мере совершенствования технологий и масштабов практического использования часть «нетрадиционных» энергоустановок перейдет в разряд традиционной «большой» энергетике, другая часть найдет свою нишу в «малой» энергетике для энергообеспечения локальных объектов. Так или иначе – за нетрадиционными источниками энергии большое будущее, и мы должны всемерно способствовать тому, чтобы это будущее скорее становилось настоящим. От этого зависят вопросы жизни и смерти на нашей планете.

РАЗДЕЛ № 1. ЭНЕРГИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ЖИЗНИ ОБЩЕСТВА

1.1. Энергосбережение – основа устойчивого развития современного общества

Овладение источниками энергии всегда было способом выживания человечества. И сегодня ее потребление является одним из важнейших не только экономических, но и социальных показателей, во многом определяющих уровень жизни людей. Вот почему иногда говорят, что энергетика управляет миром.

Рост цен на энергоресурсы делает экономически целесообразной задачу энергосбережения. На сегодняшний день в любой отечественный продукт заложено в 3, 5, 10 раз больше энергозатрат, чем в аналогичный западноевропейский. Радикальным решением является использование нового технологического оборудования и технологических процессов с меньшим потреблением электроэнергии.

Источником всей энергии на Земле является Солнце. В процессе фотосинтеза, являющегося основой жизни многих видов растений, живая природа потребляет лишь незначительную часть (около 40 ТВт) от общего количества исходящей от Солнца энергии (около 200 000 ТВт). Большее количество солнечной энергии расходуется на нагревание атмосферы Земли (50 %), освещение планеты (30 %) и осуществление процессов кругооборота веществ на Земле (20 %). Использование энергии человечеством растет в геометрической прогрессии. В 1990 году оно составило около 12 ТВт, т. е. 30 % от ее общего количества, поглощаемого в процессе фотосинтеза.

Современные энергосистемы являются неотъемлемым компонентом инфраструктуры общества, в особенности промышленно развитых стран, которые расходуют примерно 4/5 энергоносителей и в которых живет лишь 1/4 населения планеты. На страны третьего мира, где живет 3/4 населения Земли, приходится около 1/5 мирового потребления энергии.

С каждым годом все больше обостряются вопросы, связанные с дальнейшими путями развития энергетике. С одной стороны, рост населения и стремление людей к повышению жизненного уровня диктуют необходимость интенсивного наращивания мощностей энергетике. С другой стороны, истощение запасов горючих полезных ископаемых требует более экономичного и рационального использования энергии. Не менее серьезной проблемой является негативное воздействие топливно-энергетического комплекса на состояние окружающей среды, достигшее к настоящему времени критического уровня.

Обоснованные предостережения ученых, призывы прогрессивных государственных деятелей к изменению парадигмы социально-экономического

развития, осознание политиками и национальными лидерами возможных трагических последствий продолжения прежнего пути развития привели к ряду исторических событий, среди которых ключевым является Всемирная Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.). На пороге XXI века впервые в истории руководители и главы правительств 150 стран мира объединились для выработки ориентиров на пути к устойчивому социально-экономическому экологически безопасному развитию общества.

Понимая неизбежность экономического роста, и, следовательно, неизбежность роста потребления энергоресурсов и увеличения производства энергии, международное сообщество выработало ряд приоритетов новой энергетической политики, ориентируя дальнейшее развитие энергетики в соответствии с принципами устойчивого экологически безопасного развития:

1. Энергосбережение.
2. Энергоэффективность.
3. Экологическая безопасность.

Энергетика будущего, таким образом, в последующем своем развитии должна решить три основных задачи:

1. Экономное использование невозобновляемых энергоресурсов.
2. Эффективное использование энергии (с целью уменьшения потерь в процессе генерации, трансформации, передачи и потребления).
3. Увеличение использования возобновляемых (альтернативных) энергоресурсов и стимулирование поиска новых источников энергии.

1.2. Основные понятия и определения в энергосбережении

Ниже приведены термины и определения понятий в области энергосбережения в соответствии СТБ 1770 – 2007 «Энергосбережение. Основные термины и определения».

Термины, установленные настоящим стандартом, обязательны для применения в технических нормативных правовых актах всех видов, а также в научно-технической и специальной литературе.

Энергия (греч. – действие, деятельность) – общая количественная мера различных форм движения материи. В приложении к рассматриваемой дисциплине энергия – это способность тела или системы тел совершать работу.

К основным видам энергии, объясненным и признаваемым современной наукой, относятся:

– **механическая** – энергия механического движения и взаимодействия тел системы или их частей. Механическая энергия равна сумме кинетической и потенциальной энергии механической системы (рис. 1.1);

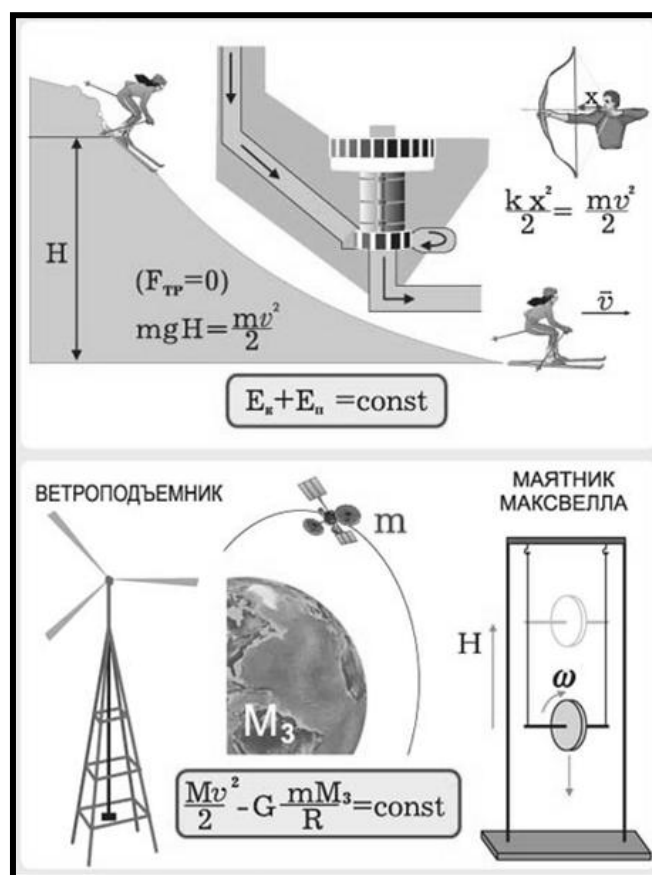


Рис. 1.1. Закон сохранения полной системы механической энергии

- **тепловая** – вид энергии который может переходить в другой: энергия движения в тепловую, и наоборот; тепловая энергия в световую и электрическую, и наоборот; причем все формы энергии эквивалентны друг другу в работе;
- **химическая** – энергия, выделяющаяся при химическом взаимодействии атомов и молекул. Энергия, выделяемая или поглощаемая при химической реакции;
- **электрическая** – энергия выделяемая электронами при движении проводника в электромагнитном поле;
- **электромагнитная** – энергия электромагнитного поля, состоящая из энергий электрического и магнитного полей (по ГОСТ 19880-74);
- **гравитационная** – потенциальная энергия тел (частиц), обусловленная их взаимным тяготением. Для двух тел абсолютное ее значение пропорционально произведению масс этих тел и обратно пропорционально квадрату расстояний между ними.

$$F = \gamma \cdot P_1 \cdot p_2 / r^2 \quad (1.1)$$

За нуль гравитационной энергии принято считать ее значение для тел, удаленных друг от друга на бесконечно большое расстояние, т. е. для тел, между которыми нет гравитационного взаимодействия. При сближении тел силы тяготения совершают работу за счет потенциальной энергии тяготения, то есть гравитационной энергии. Отсюда для любой системы тел, находящихся на конечных расстояниях, гравитационная энергия отрицательна. Для изолированной системы тел гравитационная энергия является энергией связи.

– **ядерная** – атомная энергия, внутренняя энергия атомного ядра, выделяющаяся при ядерных реакциях. Энергия, которую необходимо затратить для расщепления ядра на составляющие его нуклоны, называется энергией связи ядра. Взаимосвязь между массой физического тела и заключенной в ней энергией определена выдающимся ученым Альбертом Эйнштейном:

$$E = mC^2 \quad (1.2)$$

– **солнечная** – энергия, выделяющаяся при преобразовании солнечного излучения в тепловую и электрическую энергию;

– **ветра** – энергия преобразования кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую. Энергию ветра относят к возобновляемым видам энергии, так как она является следствием деятельности солнца;

– **энергия воды** – энергия преобразования кинетической энергии воды в электрическую и др. Энергия с давней традицией, используемая для современного, чистого производства электроэнергии. Сила воды относится к древнейшим источникам энергии человечества. Силу воды использовали для работы мельниц, пил и насосов.

Энергосбережение – организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение удельного расхода энергетических ресурсов на производство единицы продукции работ или услуг в процессе добычи, переработки, транспортирования, хранения, производства, использования и утилизации.

Закон сохранения энергии – один из фундаментальных законов природы, согласно которому энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает; она может только переходит из одной формы в другую.

Энергетические ресурсы – материальные объекты, в которых сосредоточена энергия, пригодная для практического применения человеком.

Энергетика (наука) – отрасль прикладных и теоретических знаний об энергоиспользовании: производстве, преобразовании, передаче, распределении и потреблении энергии в различных ее формах.

Энергетика (сектор экономики) – базовый сектор национальной экономики, охватывающий ее энергообеспечение: производство, экспорт-импорт, транспорт и распределение энергоресурсов.

Энергоэффективность – количественное значение индекса экономичности энергопотребления изделия, характеризующее его энергоэффективность при эксплуатации (КЭЭ).

Энергосбережение не следует отождествлять с банальной экономией или, что еще хуже, искать виновных среди рабочих и служащих, забывших выключить лампочку в туалете. Энергосбережение – это процесс планомерного проведения организационно-технических мероприятий, позволяющих уменьшить потребление энергии без снижения качества и объемов выпускаемой продукции или оказываемых услуг, ухудшения условий работы и отдыха людей, снижения уровня промышленной и экологической безопасности производственных процессов и т. п. К таким мероприятиям можно отнести внедрения современных технологий и оборудования, датчиков контроля над состоянием энергосистем, оптимизации схем и режимов работы, применения эффективных методов экономического стимулирования, повышения культуры производства и пр.

Энергосбережение – это наука о поиске новых, неограниченных ресурсами Земли, источников энергии, методах учета энергии с целью контроля над ее рациональным использованием, сокращении потребности в энергоресурсах и энергоносителях в расчете на единицу конечного полезного эффекта от их применения.

К области энергосбережения относятся правовые, организационные, научные, производственные, технические и экономические акции, направленные на повышение эффективности применения топливно-энергетических ресурсов и снижение потерь на всех стадиях энергоиспользования, а также на вовлечение в хозяйственный оборот нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

1.3. Роль энергетики и энергоресурсов в развитии человеческого общества и уровне цивилизации

Энергетика составляет основу основ современной цивилизации. Ее история насчитывает тысячелетия, ведь человек начал потреблять энергоресурсы уже с тех пор как научился использовать в своих целях огонь. На каждом этапе исторического развития усложнение хозяйственной деятельности и желание повысить уровень жизни неизбежно приводило к нехват-

ке энергии, противоречию между желаемым и возможным. Для преодоления противоречия необходимо было находить новые источники сил и энергии, появление которых, в свою очередь, ускоряло рост производства, науки, численности и благосостояния населения, вследствие чего вновь возникали проблемы энергообеспечения.

Процесс потребления человечеством энергии исторически протекал крайне неравномерно. Общий характер изменения интенсивности энергопотребления отражает график на рис. 1.2. Симбатность протекания процессов потребления энергии и накопления информации свидетельствует о жесткой взаимосвязи между развитием энергетики и общественным прогрессом.

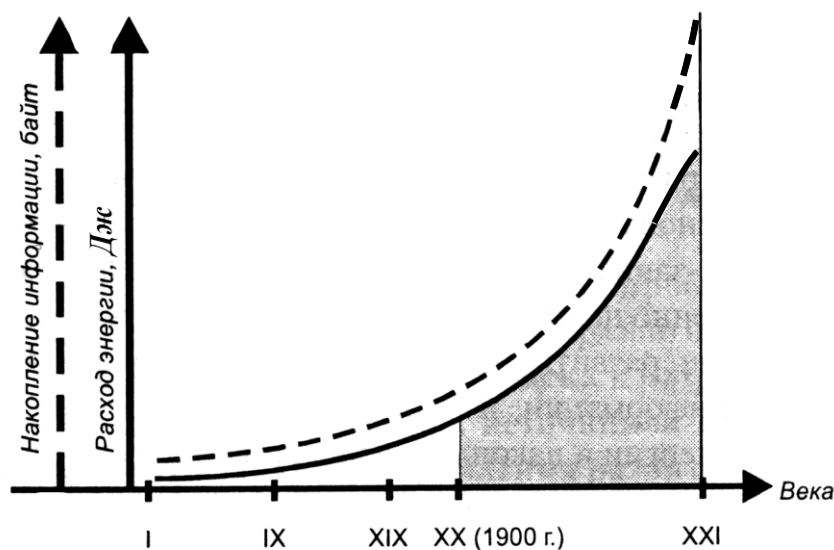


Рис. 1.2. Динамика потребления энергии и развития человеческой цивилизации

В двадцатом веке мировое потребление коммерческих энергоресурсов возросло более чем в 20 раз. Причем за последние пятьдесят лет человечество израсходовало больше энергии, чем за всю предыдущую историю своего существования. Этот же период характеризуется резким ускорением мирового научно-технического и социального прогресса, существенным ростом численности населения планеты.

Учитывая, что энергия является важнейшим элементом устойчивого развития любого государства, каждое из них стремится разработать такие способы энергоснабжения, которые наилучшим образом обеспечивали бы развитие и повышение качества жизни людей, особенно в развивающихся странах, при одновременном сведении к минимуму воздействия человеческой деятельности на здоровье людей и окружающую среду. В последние 25 лет все развитые страны мира перестали наращивать потребление первичной энергии на душу населения, обеспечив достаточно высокий уровень жизни своих граждан.

Доступность энергии и внедрение новых машин, оборудования, автоматических систем управления позволили многократно повысить производительность труда и минимизировать объем физической работы. Развитие транспорта обеспечило свободу перемещения, средств связи – свободу общения и доступа к информации, жилищно-бытовых систем и коммуникаций – высокий уровень бытового комфорта. Рост потребления энергии чрезвычайно высок, но именно поэтому достигнуты высокая продолжительность и уровень жизни, и человек значительную часть своего времени может посвятить досугу, образованию, спорту, созидательной деятельности. Представление о том, сколько сейчас человеческое сообщество потребляет энергии, может дать следующее сравнение. Если все работоспособное население Земли будет трудиться с полным напряжением своих физических сил по 8 часов в сутки, то за год это составит не более 1 % энергии, получаемой в настоящее время за счет использования органического и ядерного топлива и энергии рек.

О важной роли энергетики и энергоресурсов в развитии экономики свидетельствуют данные об удельном энергопотреблении в различных странах мира. Взаимосвязь между объемом ВВП и энергопотреблением отметил академик П.Л. Капица. На основе данных ООН и Всемирного банка он показал, что между этими величинами существует сильная линейная зависимость (рис. 1.3), и сделал вытекающий из нее с очевидностью вывод: «Если люди будут лишаться энергетических ресурсов, их материальное благосостояние будет падать».

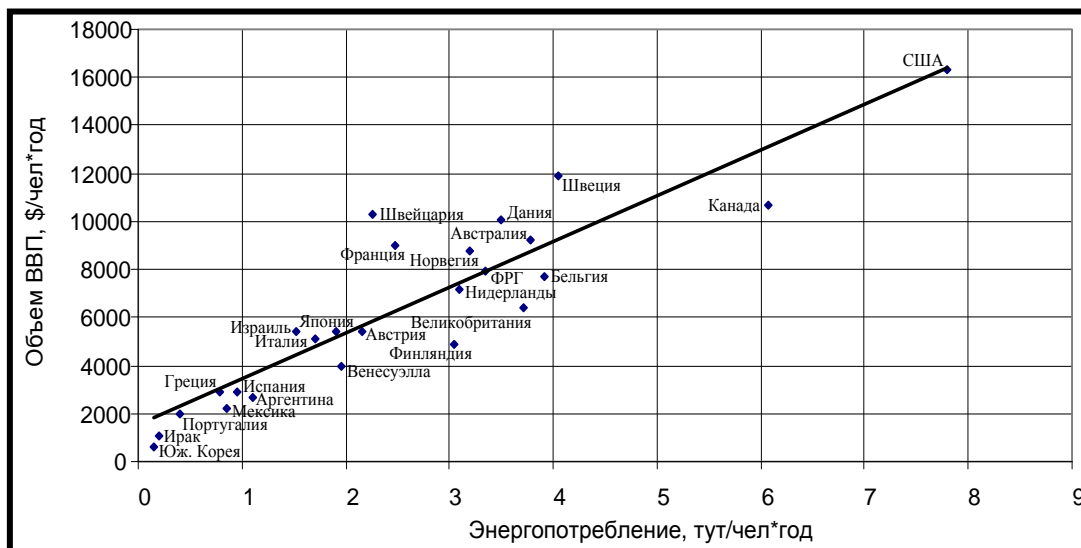


Рис. 1.3. Взаимосвязь между уровнем развития экономики и энергопотреблением (данные за 1968 г. : потребление энергии на душу населения пересчитано в тонны условного топлива, а ВВП – в доллары США в системе постоянных цен 1993 г.)

Следует отметить, что к настоящему времени произошло значительное ослабление данной зависимости, и уровень экономического благосостояния в конкретной стране определяется уже не только объемом, но и эффективностью использования энергоресурсов.

Одним из основных факторов бурного развития промышленности и повышения уровня жизни в двадцатом веке стала электрификация. На сегодняшний день электроэнергия является самым универсальным и удобным из известных видов энергии, темпы прироста ее производства почти в полтора раза превышают темпы роста суммарного энергопотребления, электроэнергетика является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей. Без достаточного количества электроэнергии невозможен экономический рост, и строительству новых промышленных и жилых объектов предшествует опережающее наращивание мощности электроэнергетической системы, которую многие аналитики называют самой критической инфраструктурой мира.

В таблице 1.1 представлены данные по производству электроэнергии в некоторых странах мира. Указанные значения не во всех случаях соответствуют объему внутреннего потребления, поскольку электроэнергия наряду с первичными энергоресурсами является предметом международной торговли.

Таблица 1.1

**Удельный объем производства электроэнергии
в различных странах (1993 г.)**

Страна	Производство, кВт ч/чел·год	Страна	Производство, кВт ч/чел·год	Страна	Производство, кВт ч/чел·год
Норвегия	28515	Австрия	6478	Польша	3462
Канада	18278	Россия	6297	Беларусь	3795 (1991)
Швеция	17488	Дания	5872		2447 (1995)
США	12067	Германия	5740		3099 (2004)
Финляндия	10886	Чехия	5660	Португалия	2672
Австралия	9048	Гонконг	5356	Бразилия	1529
Швейцария	8097	Нидерланды	5086	Турция	1026
Франция	7459	Испания	4193	Индия	346
Япония	7167	Италия	3917	Бангладеш	45

Удельное электропотребление в наименее развитых странах и средний показатель по странам ОЭСР различаются на два порядка (в 2000 г. – 83 и 8053 кВт·ч/чел·год соответственно), что также дает основания говорить о ярко выраженной неравноправии в области потребления энергии на региональном уровне. В Беларуси наибольшее потребление электроэнергии было зафиксировано в 1991 г. и составило 49,2 млрд. кВт ·ч (4825 кВт ·ч/чел·год). После распада СССР в связи с общим экономическим кризисом и спадом про-

изводства произошло резкое снижение данного показателя до 32 млрд. кВт ·ч (3150 кВт ·ч/чел·год). В последние годы ситуация несколько стабилизировалась, и наметилась тенденция плавного роста электропотребления, достигшего в 2004 г. 34,1 млрд. кВт ·ч (3480 кВт ·ч/чел·год).

По объемам удельного потребления электроэнергии и топливно-энергетических ресурсов в целом наша республика существенно уступает индустриально развитым странам, но еще большее отставание наблюдается по эффективности их использования.

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

Несмотря на отсутствие в РБ достаточного количества собственных горючих полезных ископаемых, энергоэффективность промышленного производства, сельского хозяйства, коммунально-бытового сектора и экономики в целом находится на крайне низком уровне.

Это связано с тем, что народное хозяйство долгое время развивалось по экстенсивному и энергоемкому пути. Увеличение объемов производства достигалось в основном за счет применения более мощной техники, роста потребления конструкционных материалов, топлива и электроэнергии. Элементы технологий, отвечающие за снижение энергопотребления и защиту окружающей среды, исключались из проектов для выполнения плановых сроков строительства в условиях недостаточного финансирования. Нормы расхода энергоресурсов разрабатывались министерствами и ведомствами без привязки к конкретным производственным условиям и обычно значительно превышали уровень реального энергопотребления. В результате на выпуск единицы продукции в республике расходуется в 2 – 4 раза больше энергетических ресурсов, чем в развитых странах.

Эффективность энергопотребления в конкретной стране обычно оценивается с помощью макроэкономического показателя «энергоемкость экономики», равного отношению суммарно потребленной энергии к объему внутреннего валового продукта (ВВП). На рис. 1.4 представлены графики, характеризующие по данному показателю уровень эффективности энергопотребления в различных странах мира.

Сравнивая значения энергоемкости экономики в разных странах, следует учитывать несоответствие официальных курсов национальных денежных единиц паритету их реальной покупательной способности (ППС). В частности, для стран с переходной экономикой обменные курсы доллара США завышены, что обусловлено политикой стимулирования экспорта.

Энергоемкость мировой экономики на начало XXI века составила около 0,25 тонн условного топлива на 1000 \$ МВП.

В настоящее время все страны разделились по уровню энергоэффективности, как минимум, на пять групп.

Сравнение графиков на рис. 1.2 и 1.3 показывает, что за три десятилетия потребление энергии на душу населения во всех странах существенно выросло, и одновременно произошла резкая дифференциация стран по эффективности использования энергии. Большинство развитых стран за это время увеличили не только количество потребляемой энергии, но и эффективность ее использования. Наличие в стране сырьевых, а также ресурсо- и энергоемких отраслей промышленности (металлургия, химия и др.) снижает общий уровень энергоэффективности.

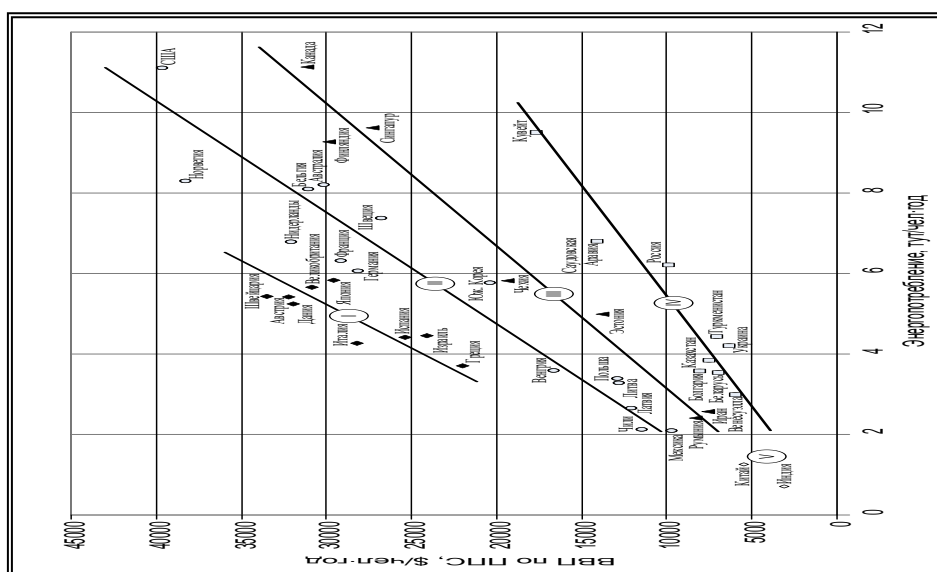


Рис. 1.4. Эффективность потребления энергии в различных странах мира (2004 г.)

Это проявляется не только на примере стран, ориентированных исключительно на производство и продажу сырья, но даже на примере высокоразвитых стран, таких, как США и Канада. При высочайшем уровне технологий они, тем не менее, уступили по эффективности использования энергии при создании ВВП странам первой группы.

Республика Беларусь по уровню энергоэффективности в настоящее время находится между III и IV группами, несмотря на то, что располагает меньшими запасами горючих ископаемых, чем некоторые страны первой группы. Поэтому повышение энергоэффективности при постепенном наращивании объемов потребления энергии является важнейшим и необходимым условием подъема экономики Беларуси и ее интеграции в мировую экономику.

1.4.1 Основные причины неэффективного использования энергоресурсов в РБ

Бурно развивающаяся экономика стран в XX веке требовала все больше затрат топливно-энергетических ресурсов. Добыча нефти, угля, газа с каждым годом возрастала. Эти источники казались неистощимыми. Разразившийся в 1973 – 1974 гг. нефтяной кризис заставил многие страны задуматься над использованием альтернативных источников энергии и экономным использованием топливно-энергетических ресурсов, что и обусловило повышение многими странами уровня самообеспечения энергоресурсами. Однако энергетическая проблема остается актуальной и в настоящее время практически для всех стран Европы, поскольку степень обеспеченности собственными ресурсами составляет в отдельных странах Европы 40 – 50 %.

Остро она ощутима и в Республике Беларусь, способной обеспечить себя примерно на 16 % собственными топливными ресурсами, остальное количество их приходится завозить из-за рубежа и платить большие деньги. Удельный вес ввоза топливно-энергетических сырьевых и материально-технических ресурсов в валовом внутреннем продукте составляет более 43 %. Республика импортирует (в основном из России) весь потребляемый каменный уголь, более 90 % нефти, 100 % природного и четверть сжиженного газа.

Если сравнивать энергоемкость продукции наших предприятий, то она значительно выше, чем в индустриально развитых странах. Так, например, при получении 1 т извести у нас тратится электроэнергии в 5,5 раз больше, чем на Западе, серной кислоты – в 2,7, железобетона – в 1,7 раза. На каждый доллар США произведенной в республике продукции расходуется 1,4 кг условного топлива, тогда как в странах ЕС – 0,81 кг. Правда, следует учитывать, что климат в нашей стране более холодный, что обуславливает и больший расход ТЭР на обогрев производственных зданий и жилищно-бытового сектора. На состоявшемся в 1997 году республиканском семинаре, посвященном проблеме энергосбережения, было отмечено, что энергоемкость валового внутреннего продукта в нашей стране составляет 165 тонн условного топлива на 1 млрд. руб., что в 4 – 5 раз выше, чем в странах ЕС.

Очевидно, что отечественная промышленность по удельным расходам топлива и электроэнергии пока весьма далека от европейских стандартов. Не лучшее положение с энергоемкостью и в агропромышленном комплексе. Энергоемкость нашей сельхозпродукции в 3 – 5 раз выше, чем в развитых странах. Так, на 1 т говядины тратится 550 кВтч электроэнергии, на одну тонну свинины – в 2,5 раза больше. Совокупный расход энергоресурсов в производстве 1 тонны зерна составляет 28 – 30 кг условного топлива.

Такие высокие удельные расходы топлива и электроэнергии явились следствием существовавшей в условиях командно-административной системы практики разработки самими производителями (предприятиями) или отраслевыми организациями норм расхода топлива, тепла, электроэнергии и сырья на выпуск той или иной продукции. Затем эти нормы утверждались отраслевыми министерствами. Каждая отраслевая организация стремилась любым путем обеспечить своему ведомству режим «наибольшего благоприятствования», т. е. разработать такие нормы, которые при любой, даже самой чрезвычайной ситуации, исключали бы перерасход этих ресурсов. Иными словами, нормы расхода устанавливали не по действительному расходу ресурсов на единицу продукции, а по верхнему допустимому пределу. К тому же, 1 кВтч для села стоил 1 коп. Доходило до того, что колхозам и совхозам доводили план потребления энергии. Такая «практика» несла, помимо экономических, значительные социальные издержки, поскольку этот заведомый перерасход закладывался в цены на продукцию, выпускаемую предприятиями. В результате в стоимость товаров включались потери, которые оплачивали потребители. И хотя удельный вес топливно-энергетических затрат в себестоимости иных видов продукции не самый высокий (менее 20 % у ряда отраслей), но составляет, в зависимости от отрасли, 5 – 50 % (например, в машиностроении – 5 – 8 %). Каждый новый виток цен на энергоносители делал и делает эти товары все более дорогими.

Нельзя сбрасывать со счетов и технологическое отставание нашего производства от производства Запада. До самого недавнего времени приоритет отдавался дальнейшему наращиванию мощностей, хотя для того, чтобы сэкономить какое-то количество энергоресурсов, требуется затратить в 2 – 3 раза меньше средств на действующих мощностях путем их модернизации (реконструкции) по сравнению с созданием новых.

Таким образом, к 1995 г. прошлого столетия в Республике Беларусь были выявлены следующие основные причины неэффективного использования энергоресурсов:

- в хозяйственной системе отсутствуют действенные механизмы обеспечения рационального использования и экономного расходования ТЭР;
- большинство предприятий работает со сниженной производительностью;
- установленные на предприятиях двигатели и прочее электрооборудование имеют чрезмерный запас мощности;
- в связи с экономическим кризисом обострилась проблема технического ремонта и обслуживания электрооборудования;
- в РБ нет собственного развитого промышленного производства энергетических средств, энергосберегающего оборудования;

- отсутствует четкая система научного сопровождения, научные и производственные кадры плохо подготовлены по профилю «Энергосбережение», отсутствуют профильные специальности в вузах;

- отсутствует психологическая настроенность и желание людей (бытовых потребителей) экономно расходовать энергоресурсы.

В качестве основных направлений развития энергетического сектора РБ, смягчающих дефицит собственных первичных энергоресурсов в условиях ограниченности финансовых ресурсов определены следующие:

- снижение энергоемкости внутреннего валового продукта;
- энергосбережение;
- импорт ТЭР для устойчивой работы имеющихся энергоустановок;
- частичное покрытие дефицита электро- и теплоснабжения за счет нетрадиционных источников энергии;

- развитие и модернизация традиционной энергетики на углеводородном топливе на базе более экономичных высокоэффективных энергетических установок;

- развитие ядерной энергетики.

Все эти направления рассмотрены и закреплены в Государственной комплексной программе модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006 – 2010 годах.

Правовую основу деятельности в области энергосбережения составляют Закон Республики Беларусь от 15 июля 1998 г. № 190-З «Об энергосбережении» (в ред. Закона Республики Беларусь от 20.07.2006 г. № 162-З), а также ряд иных нормативных правовых актов. Законом «Об энергосбережении» энергосбережение признано приоритетным направлением развития отечественной энергетики.

1.5. Энергосбережение – самый дешевый источник энергии

Начиная с 1995 года, в Республике Беларусь обеспечено повышение валового внутреннего продукта (ВВП) на 36 % практически без прироста ТЭР. Энергоемкость ВВП за этот период снизилась на 28,2 %.

Однако следует отметить, что, например, в 1996 году энергоемкость ВВП в нашей стране была меньше на 17 %, чем на Украине, и на 42 % меньше, чем в России, но в два с лишним раза больше, чем в Германии, и на 24 % больше, чем в США. Это означает, что потенциал экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в Беларуси огромен и составляет от 8 до 10 млн. т топлива в условном исчислении или более чем 1/5 часть их общего потребления в год, а вообще он составляет примерно 40 – 45 % от потребленных ныне ТЭР.

О значении этого резерва можно судить по следующему факту: если бы в Республике Беларусь удалось «ввести» его в действие или хотя бы мы могли сравняться по удельным энергозатратам с развитыми странами, то, как минимум 10 лет, мы могли бы не наращивать мощности наших электростанций и котельных.

Оплата в год за энергоносители нашей страной достигает 1,8 млрд. долларов, а на закупку хлеба для всего населения при условии, если бы здесь его не выращивали вовсе, понадобилось бы 700 млн. долларов. Специалисты подсчитали, что при разумной организации энергопотребления страной энергоносителей, ввозимых извне, можно снизить расходы на их закупку на 40 % и сэкономить 700 – 800 тыс. долларов. Поэтому энергосбережение является приоритетом государственной политики, важным направлением в деятельности всех без исключения субъектов хозяйствования и самым дешевым, но не бесплатным, источником энергии. По мнению специалистов, только в сельском хозяйстве, можно сэкономить до 50 % от затрачиваемой энергии, а в некоторых производствах строительной индустрии – и того больше. При этом во многих случаях мероприятия по внедрению энергосберегающих технологий не требует больших финансовых затрат, так как расходы на производство 1 т у. т. первичной энергии в 3 – 4 раза больше, чем на ее сбережение.

Быстрое истощение запасов горючих полезных ископаемых, ухудшение состояния окружающей среды, экономические проблемы топливно-энергетического комплекса подтолкнули в конце XX века мировую общественность к необходимости применения энергосберегающих мероприятий во всех сферах энергетики и промышленности, созданию согласованных программ и действий на государственном и международном уровнях.

Результатом стали серьезные успехи во внедрении энергосберегающих технологий, многообещающие разработки в области производства электроэнергии на базе газотурбинных и парогазовых установок, новые интеграционные процессы международного взаимодействия в области энергетики и экологии, что привело к наблюдающимся сегодня тенденциям в структуре мирового потребления ТЭР. Так, согласно современным прогнозам, доля ядерного топлива к 2020 г. будет составлять 5 – 6 %. На долю энергосбережения и возобновляемых источников энергии придется 15 – 20 %, причем 9 – 10 % на долю только энергосбережения. То есть доля энергосбережения весьма существенна и соизмерима со значением других источников энергии в покрытии энергетических потребностей человечества.

По существующим экспертным оценкам, в настоящее время наблюдается непрерывный, устойчивый прирост мирового потребления ТЭР в среднем на 1-2 % ежегодно, но скорость прироста постепенно снижается и очень силь-

но отличается от динамики 1970 – 1980 гг. Это объясняется активным проведением энергосберегающих мероприятий в развитых странах, рационализацией их ТЭК, а также экономическим кризисом в странах СНГ и снижением в них энергопотребления из-за спада производства. При рассмотрении динамики энергопотребления его уровень необходимо соотносить с изменением основного показателя, характеризующего уровень развития мировой экономики. Таким показателем является объем мирового валового продукта (МВП), который определяется общей рыночной стоимостью всех товаров и услуг, произведенных в мире в течение года. В последнее время идет постоянное снижение энергоемкости МВП, что оказывает благоприятное влияние на развитие мировой экономики, состояние экологии, уровень развития науки и техники, сохранение энергетических и сырьевых запасов планеты для потомков.

В настоящее время энергосбережение уже выделяют как самостоятельный отдельный энергоресурс. Такой подход к пониманию энергосбережения объясняется тем, что во многих случаях для получения необходимого количества энергии экономически более целесообразным оказывается внедрение энергосберегающих технологий, чем бурение нефтяных скважин, разработка новых угольных месторождений, строительство нефтегазопроводов, атомных электростанций и т. д. Так как энергосбережение позволяет избежать строительства вышеуказанных объектов, снизить количество сжигаемых топлив, объемы использования ядерного топлива, способствует совершенствованию промышленных технологий, то это приводит к уменьшению загрязнения окружающей среды. Поэтому энергосбережение называют самостоятельным экологически чистым источником энергии.

По расчетам специалистов экономически оправданный потенциал энергосбережения в странах СНГ, Центральной и Восточной Европы в настоящее время составляет примерно 20 – 30 % от их общего потребления ТЭР.

В нашей стране энергосбережение рассматривается как крупный потенциальный источник энергии, способный обеспечить 30 – 40 % потребностей республики в энергоресурсах, то есть практически вдвое сократить их импорт, который обходится ежегодно в миллиарды долларов.

Цифры показывают, насколько отсталой и неэффективной в плане энергоиспользования является на данный момент отечественная экономика. Реализация имеющегося потенциала энергосбережения стала приоритетом энергетической и экономической политики государства, так как эффективность использования энергоресурсов является фактором, который определяет производство конкурентоспособной продукции, и, в конечном счете, стабильность и эффективность национальной экономики.

Контрольные вопросы

1. Какие три основных принципа положены в основу новой энергетической политики Республики Беларусь?
2. Какие три задачи должна решить Республика Беларусь для создания энергетики будущего?
3. Что такое энергия?
4. Какие Вы знаете виды энергии
5. Что такое потенциальная энергия?
6. Что такое кинетическая энергия?
7. Что такое тепловая энергия?
8. Что такое химическая энергия?
9. Что такое электрическая энергия?
10. Что такое ядерная (атомная) энергия?
11. Что такое солнечная энергия?
12. Что такое энергия ветра?
13. Что такое гравитационная энергия?
14. Что такое кинетическая энергия?
15. Динамика потребления энергии и развития человеческой цивилизации
16. Взаимосвязь между уровнем развития экономики и энергопотреблением.
17. Основные причины неэффективного использования энергоресурсов в РБ.
18. Энергосбережение – самый дешевый источник энергии.

РАЗДЕЛ № 2. ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

2.1. Энергоресурсы. Возобновляемые и истощаемые энергоресурсы

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

Под энергоресурсами понимаются материальные объекты, в которых сосредоточена энергия, пригодная для практического использования человеком. Энергия, непосредственно извлекаемая в природе, называется **первичной**, а энергоресурсы – **первичными энергоресурсами**.

На классификационной схеме (рис. 2.1) выделены **традиционные виды энергии**, которые широко используются человечеством, и **нетрадиционные виды энергии**, мало использовавшиеся до последнего времени в силу отсутствия экономических условий и эффективных способов их промышленного преобразования в такие энергоносители как электроэнергия, тепловая или механическая энергия.



Рис. 2.1. Классификация первичных энергоресурсов

Энергоресурсы подразделяют также на возобновляемые и невозобновляемые.

Невозобновляемые энергоресурсы – это те, которые ранее были накоплены в природе и в новых геологических условиях либо вообще не образуются, либо их образование идет с гораздо меньшей скоростью, чем потребление.

К невозобновляемым энергоресурсам относят органические виды топлива и атомную энергию.

Возобновляемые энергоресурсы – это те, восстановление которых постоянно осуществляется в природе (на схеме (см. рис. 2.1) эти виды энергии показаны в ячейках с заливкой).

К возобновляемым энергоресурсам относят энергию: солнца; мирового океана в виде энергии приливов и отливов; энергию волн; рек; ветра; морских течений, геотермальных источников; биомассу, вырабатываемую из морских водорослей, твердых бытовых отходов.

Недостатком возобновляемых источников энергии является низкая степень ее концентрации. Но это в значительной степени компенсируется широким распространением, относительно высокой экологической частотой и их практической неисчерпаемостью. Такие источники наиболее рационально использовать непосредственно вблизи потребителя без передачи энергии на расстояние. Энергетика, работающая на этих источниках, использует потоки энергии, уже существующие в окружающем пространстве, перераспределяет, но не нарушает их общий баланс.

Неиспользование потоков энергии возобновляемых источников приводит к ее безвозвратной потере, предопределяет несколько иной подход к оценке эффективности устройств, применяющих эти источники, по сравнению с устройствами, работающими на невозобновляемых ресурсах.

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

Солнечная энергия преимущественно используется для горячего водоснабжения, сушки сельскохозяйственной продукции, опреснения вод, других технологических целей, а также преобразования ее в электрическую энергию. В дальнейшем на первое место должны выйти технологии по преобразованию солнечной энергии в электрическую и химическую энергию. Находит применение солнечная энергия также на наземных транспортных средствах, водных просторах и в воздухе. В последнее время интерес к проблеме использования солнечной энергии резко возрастает, поскольку потенциальные возможности энергетики, основанной на использовании непосредственно солнечного излучения, чрезвычайно велики.

При нынешнем состоянии науки и техники солнечная электростанция может быть рентабельна, если число солнечных часов за год составляет не

менее 1900. Это подтверждает и опыт строительства и эксплуатации электростанции «Тесей» мощностью 50 МВт на побережье острова Крит, где Солнце светит 2200 часов в год. По ночам и в пасмурные дни на станции подключается резервный паровой котел, работающий на мазуте. По данным метеорологов в Республике Беларусь 150 дней в году пасмурны, 185 дней – с переменной облачностью и 30 – ясных, а всего число часов солнечной радиации в Беларуси достигает 1200 часов на севере страны и 1300 – на юге.

Солнечная энергетика относится к наиболее материалоемким видам производства энергии. Крупномасштабное использование солнечной энергии влечет за собой гигантское увеличение потребности в материалах, следовательно, и в трудовых ресурсах для добычи сырья, его обогащения, получения материалов, изготовления гелиостатов, другой аппаратуры, их перевозки.

Несмотря на это, Япония взялась осуществить грандиозный проект перекачки энергии Солнца на Землю. Министерство экономики и промышленности объявило, что начаты научные работы, связанные с запуском в космос гигантского спутника с двумя солнечными батареями, каждая из которых – по километру в ширину и по три – в длину. Беспрецедентный проект оценивается в два триллиона иен (примерно 18 миллиардов долларов). Фактически это будет первая в истории космическая электростанция мощностью в миллион киловатт – почти на 20 % больше, чем у Днепрогэса. Сам спутник, весом 20 тыс. тонн, будет представлять собой симметричную конструкцию из трех основных частей – двух солнечных батарей-пластин по бокам и антенны-тарелки в центре. Ее диаметр составит примерно километр. Она будет передавать собранную энергию наземной антенне. Площадь исполинского диска приемной антенны измеряется несколькими квадратными километрами, а раскинут он будет где-нибудь в океане или пустыне. Экологически безупречная суперэлектростанция будет вращаться на геостационарной орбите в 36 тыс. км от планеты. Предполагается, что это произойдет не позднее 2040 г.

Энергия, заключенная в текущей воде, многие тысячелетия верно служит человеку. Запасы воды на земле колоссальны. Огромным аккумулятором энергии является мировой океан, поглощающий большую ее часть, поступающую от Солнца. В нем плещут волны, происходят приливы и отливы, возникают могучие океанские течения. На земле рождаются многочисленные реки, несущие огромные массы воды в моря и океаны. Люди раньше всего научились использовать энергию рек в качестве путей сообщения.

Когда наступил золотой век электричества, произошло возрождение водяного колеса в виде водяной турбины. Считают, что современная гидроэнергетика родилась в 1891 г.

В нашей стране гидроэлектростанции начали строить в 30-х годах прошлого века. Первенцем была Чигиринская ГРЭС на реке Друть в Могилевской области. В довоенные годы был построен ряд небольших гидроэлектростанций на малых реках. Большинство из них в годы войны были разрушены, а в первые послевоенные годы восстановлены и построены новые. К концу 1956 г. в нашей республике насчитывалось 162 ГЭС общей установленной мощностью 11854 кВт. Однако, начиная с 60-х годов, они начали закрываться, не выдержав конкуренции с большой энергетикой.

В последние годы во многих странах мира, особенно в Японии, Англии, странах Скандинавии, возрастающий интерес проявляется к получению **энергии от морских волн**, в результате чего эксперименты переросли в стадию реализации проектов. Создано большое количество различных центров, поглощающих и преобразовывающих волновую энергию.

В результате воздействия сил притяжения Луны и Солнца происходят периодические колебания уровня моря и атмосферного давления, что приводит к образованию приливных волн, которые и используются для выработки электроэнергии на приливных электростанциях (ПЭС). Из современных приливных электростанций наиболее хорошо известны крупномасштабная электростанция в Ране – мощностью 240 МВт (Бретань, Франция), построенная в 1967 году на приливах высотой до 13 м и, небольшая, но принципиально важная опытная станция мощностью 400 кВт в Кислой Губе на побережье Баренцева моря (Россия). Блоки этой ПЭС буксировались на плаву в нужные места для включения ее в местные энергосети в часы максимальной нагрузки электроэнергии потребителями.

Большое распространение получает **использование биомассы** для получения электроэнергии. Неожиданной возможностью океанской энергетики оказалось выращивание с плотов в океане быстрорастущих гигантских водорослей, легко перерабатываемых в метан для энергетической замены природного газа.

Большое внимание приобрела **«океанотермическая энергоконверсия» (ОТЭК)**, то есть получение электроэнергии за счет разности температур между поверхностными и засасываемыми насосами глубинными океанскими водами, например, при использовании в замкнутом цикле турбины таких легко испаряющихся жидкостей, как пропан, фреон или аммоний.

Большие запасы энергии содержатся в местах впадения пресноводных рек в моря и соленые водоемы. При наличии **перепадов солености** возникает **осмотическое давление**, которое может быть использовано для производства энергии, например, с помощью мембранных установок и другими способами.

Остается заманчивой идея использования потока теплой воды **Гольф-стрима**, несущего ее вблизи берегов Флориды со скоростью 5 миль в час.

Наконец, не следует забывать, что химическая формула воды НОН (Н₂О) содержит газ – **водород**, который после извлечения из воды может использоваться в качестве горючего для самолетов, автомобилей, автобусов, как используется в настоящее время для этих целей сжиженный газ, газ метан.

Ветровая энергия использовалась человеком с давних времен для приведения в движение лодок и судов, ветряных мельниц и водоподъемников. В настоящее время ветровые установки применяются более чем в 30 странах. Использование энергии ветра возможно только в тех местах, где средняя скорость ветра на протяжении года составляет в пределах 4 м/с, или 14,4 км/ч и более. Наиболее сильные и устойчивые ветры в Европе имеют место на морском побережье в Ирландии, Шотландии, в отдельных районах Дании, Голландии, Франции, Испании, на юго-западе Англии и в Уэльсе, а также на большей части морского побережья Северной и Южной Америки, северной части Азии и Южной Австралии, где и получает развитие производство электроэнергии с помощью ветра.

Геотермальные ресурсы – представляют собой запасы термальных вод, к которым относятся подземные воды естественных коллекторов геотермальной энергии – природных теплоносителей (воды, пара и пароводяных смесей). Для практического использования они подразделяются на несколько классов:

- низкопотенциальные (с температурой 20... 100 °С), используемые для теплотехнических нужд;
- среднепотенциальные (с температурой 100... 150 °С), используемые для теплоснабжения;
- высокопотенциальные (более 150 °С), используемые для выработки электроэнергии.

Термальные воды с более высокой температурой (150... 350 °С) из-за технических трудностей обращения с ними пока не нашли своего применения.

Небольшая северная страна Исландия практически не имеет других источников энергии, кроме как энергию от тепла земли в виде знаменитых гейзеров-фонтанов горячей воды. Благодаря им, многочисленные исландские теплицы, обогреваемые подземными источниками, полностью обеспечивают страну помидорами, яблоками и даже бананами. Столица страны Рейкьявик, в которой проживает половина населения страны, отапливается только за счет подземных источников.

Но не только для отопления черпают люди энергию из глубин земли. Уже давно работают электростанции, использующие горячие подземные источники. Первая такая электростанция была построена в 1904 году в Италии. В настоящее время такие электростанции существуют в ряде стран (Новая Зеландия, США и др.).

В отличие от многих других источников возобновляемой энергии, тепловая энергия Земли доступна днем и ночью, зимой и летом. На нее не влияют капризы погоды, что делает ее очень привлекательной для использования. Значительные запасы термальных вод имеются на Дальнем Востоке России. В Грузии, например, запасы их составляют 220 – 250 млн. м³/год. В 1999 г. они добывались в 23 месторождениях, общий тепловой потенциал составлял 120 тыс. Гкал в год, что эквивалентно 105 тыс. т у. т. в год.

В поисках альтернативных источников энергии во Франции рассматривается проект изготовления из **опавших листьев**, спрессованных в брикеты, вещества, которое по калорийности не уступает каменному углю, но экологически более чистое и, очевидно, более дешевое.

Основным сдерживающим фактором использования возобновляемых источников энергии в мире являются высокие первоначальные инвестиции в оборудование и инфраструктуру. Однако, по мнению специалистов, благодаря рациональной энергетической политике уже через 50 лет доля биомассы в энергопроизводстве возрастет с 2 % до 10 %, а доля солнечной энергии составит более 10 %. При этом производство энергии с использованием нефти сократится вдвое, а угля – почти втрое. Предполагается, что к 2100 году большую часть потребляемой энергии человечество будет получать именно из возобновляемых источников. Так, на долю биомассы будет приходиться более 20 % потребляемой энергии, Солнца – более 40 %, тогда как доля газа сократится до 10 %, нефти – до 40 %, угля – до 30 – 40 %.

К невозобновляемым энергетическим ресурсам относят: каменный уголь, запасы которого в мире оцениваются в 10 – 12 трлн. т., нефть, запасы которой распределены крайне неравномерно (на Ближнем и Среднем Востоке – 67 %, в Африке – 12,5 %, Юго-Восточной Азии и Дальнем Востоке – 3 %, Северной Америке – 9 %, Центральной и Южной Америке – 5,5 %, Западной Европе – 3 %). По уровню добычи нефти Россия занимает 3-е место в мире, уступая только Саудовской Аравии и США. В 1999 г. ее добыча составила 305 млн. т.

2.2. Виды органических топлив, их состав и теплота сгорания. Условное топливо. Единицы измерения

Основная часть энергетических потребностей человечества обеспечивается в настоящее время за счет использования органических топлив. Органические топлива – это вещества, основу которых составляют органические соединения, то есть в их состав входят главным образом такие элементы, как С и Н. Средний элементный состав основных горючих ископаемых представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Усредненный состав основных видов органических топлив

Наименование	Состав, % масс			
	С	Н	S, N, O	С/Н
Каменный уголь	80	5	15	16
Бурый уголь	65	5	30	13
Торф	55	6	39	9,2
Сапропелитовые угли	78	9	13	8,5
Сланцы	77	8	15	9,6
Нефть	85	13	2	6,5
Газ (природный)	75	25	0	3

Теплота сгорания топлив и состав продуктов сгорания напрямую зависят от элементного состава. Чем ниже соотношение С – Н, тем больше тепла выделяется при сгорании 1 кг топлива. Чем выше содержание О, тем теплота сгорания ниже. Зная элементный состав топлива можно определить его теплоту сгорания по формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_H = 339,1 \cdot C + 1030 \cdot H + 108,9 \cdot (S - O), \quad (2.1)$$

где: Q_H – низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг;

С, Н, S, O – содержание в топливе соответствующих элементов, % масс.

Максимальный энергетический эффект достигается при этом в случае сжигания природного газа – до 10 %, в случае жидких топлив – уже не более 5 %.

Низшая удельная теплота сгорания топлива – это то количество тепла, которое выделяется при полном сгорании единицы массы топлива и охлаждении продуктов сгорания до температуры исходного топлива.

$$Q_{унт} = Q_{тп} + Q_{тох}, \quad (2.2)$$

где: $Q_{унт}$ – низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$Q_{тп}$ – тепло, выделяется при полном сгорании единицы массы топлива, кДж/кг;

$Q_{тох}$ – тепло, выделяющееся при охлаждении продуктов сгорания (золы) до температуры исходного топлива, кДж/кг.

Эту теплоту сгорания называют также рабочей.

Высшая удельная теплота сгорания топлива дополнительно включает в себя количество тепла, которое выделяется при конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах.

$$Q_{увт} = Q_{тп} + Q_{тох} + Q_{тк}, \quad (2.3)$$

где: $Q_{увт}$ – высшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$Q_{\text{ТП}}$ – тепло, выделяется при полном сгорании единицы массы топлива, кДж/кг;

$Q_{\text{ТОХ}}$ – тепло, выделяющееся при охлаждении продуктов сгорания (золы) до температуры исходного топлива, кДж/кг;

$Q_{\text{ТК}}$ – тепло, конденсации водяных паров Дж/кг.

Для сравнения показателей потребляющего топливо оборудования и устройств, проведения экономических расчетов и планирования введено понятие так называемого «условного топлива».

Условное топливо представляет собой единицу учета органического топлива, применяемую для сопоставления эффективности различных видов топлива и суммарного учета. Использование условного топлива особенно удобно для сопоставления экономичности различных теплоэнергетических установок.

В качестве единицы условного топлива применяется 1 кг топлива с теплотой сгорания 7000 ккал/кг (29300 кДж/кг), что соответствует хорошему малозольному сухому углю.

Для сравнения укажем, что бурые угли имеют теплоту сгорания менее 27 МДж/кг, а антрациты и каменные угли – 23 – 33 МДж/кг. Соотношение между условным топливом и натуральным выражается формулой:

$$P_{\text{УТ}} = P_{\text{Н}} \cdot Q / 7000, \quad (2.2)$$

где: $P_{\text{УТ}}$ – масса эквивалентного количества условного топлива, кг;

$P_{\text{Н}}$ – масса натурального топлива, кг (твердое и жидкое топливо) или м^3 – газообразного;

Q – теплота сгорания данного натурального топлива, ккал/кг или ккал/ м^3 .

Отношение $Q/7000$ называется **калорийным** или **нефтяным** коэффициентом (для нефти – 1,43).

По элементному составу топлива можно определить состав продуктов сгорания. Углерод, входящий в состав топлив, окисляется до углекислого газа, водород – до воды, сера и азот – до оксидов серы и азота. Оксиды азота и серы, выбрасываемые при сжигании топлив в атмосферу, оказывают вредное влияние на здоровье людей, а затем, оседая в составе кислотных дождей, загрязняют гидросферу и почву. Чем выше соотношение С – Н, тем больше доля диоксида углерода в дымовых газах. Явление «парникового» эффекта обусловлено, главным образом, повышением концентрации этого вещества в атмосфере. Средняя теплота сгорания различных видов топлив и их калорийные коэффициенты, нефтяные коэффициенты представлены в таблице 2.2.

На основе данных таблицы 2.2 можно сделать вывод, что наиболее экологически чистым органическим топливом является природный газ, так как он практически не содержит S и N, а также характеризуется наиболее низкой величиной показателя C/H.

Таблица 2.2

Теплота сгорания различных видов топлив

Наименование	Удельная энергоемкость (теплота сгорания) кДж/кг	Коэффициент перевода	
		в условное топливо	в нефтяной эквивалент
Каменный уголь	23000 – 33000 кДж/кг	0,78 – 1,13	0,55 – 0,79
Бурый уголь	11500 – 27000 кДж/кг	0,39 – 0,92	0,27 – 0,64
Торф	9000 – 22000 кДж/кг	0,31 – 0,75	0,21 – 0,52
Сухая древесина	10000 – 19000 кДж/кг	0,34 – 0,65	0,24 – 0,45
Сланцевая смола	40000 кДж/кг	1,37	0,95
Нефть	41900 кДж/кг	1,43	1
Природный газ	48600 кДж/кг	1,66	1,16
Водород	120600 кДж/кг	4,12	2,88
Условное топливо	29300 кДж/кг (7000 кКал/кг)	1	0,70

Весьма серьезным недостатком твердых органических топлив является высокая зольность. При их использовании появляется проблема выгрузки золы из камеры сжигания. Помимо этого мелкие частицы золы выбрасываются в атмосферу с дымовыми газами. Это также является одной из причин того, что эти виды топлив недостаточно широко применяются в энергетике.

***Значения удельной энергоемкости
ядерного топлива и электроэнергии***

Из 1 кг урана при разложении его в обычных реакторах на тепловых нейтронах можно выделить около 475 ГДж энергии (соответствует 16,2 т у. т.). При применении современных реакторов на быстрых нейтронах и полном использовании потенциала ядерного топлива из 1 кг урана можно извлечь до 52000 ГДж (1800 т у. т.).

2.3. Энергетические ресурсы мира

Разные источники приводят различные данные о том, какими количествами тех или иных горючих полезных ископаемых обладает человечество в настоящее время, и за какой период времени эти запасы будут истощены. Несоответствие этих прогнозов связано с тем, что используются различные методики прогнозирования, постоянно изменяется ситуация (открываются какие-то новые крупные месторождения, появляются новые, более эффективные способы добычи и переработки первичных энергоресурсов, изменяется законодательство в области охраны окружающей среды и т. д.) и, возможно, крупные компании и целые государства пытаются таким образом изменять ситуацию на рынке и в мировой политике.

Ресурсы органического топлива разделяются на **общие** – имеющиеся в недрах земли и **извлекаемые** – доступные для извлечения человеком. Практически невозможно добыть и использовать все 100 % полезного ископаемого, имеющегося в данном месторождении. Коэффициент извлечения, определяющий долю данного вида энергоресурсов, потенциально возможную в настоящее время к извлечению, в его общих запасах, зависит от следующих факторов: вида топлива, характера месторождения, развития техники добычи. Коэффициенты извлечения для наиболее употребляемых первичных энергоресурсов следующие: для нефти – 0,3... 0,4; природного газа – 0,5... 0,8; угля – 0,25... 0,5. Столь низкий коэффициент для угля объясняется особенностями залегания его пластов и высокой опасностью работ. А вот для нефти этот показатель неоправданно низкий. Использование современных технологий добычи нефти, которые используются в развитых странах, позволяет извлекать, в зависимости от особенностей месторождения, до 70 – 80 % от потенциала.

В России и странах СНГ отбор нефти от потенциала редко превышает 30 %. Это варварское отношение к такому ценнейшему полезному ископаемому как нефть существенно приближает то время, когда человечество попадет в условия не только энергетического кризиса, но и сырьевого кризиса всей химической промышленности. Это связано с тем, что нефтепродукты составляют основу сырья всех отраслей химической промышленности. Высочайшая ценность нефти и газа как химсырья, ограниченность их природных запасов и невозпроизводимость определяют недопустимость ориентировки на них как на энергетическое сырье. Но, несмотря на это, в настоящий момент всего лишь 3 – 5 % от добываемых объемов этих ископаемых используется в качестве сырья нефтехимии.

Такая ситуация обусловлена тем, что нефть и газ обладают высокой энергоемкостью; значительно лучшими технико-экономическими показателями добычи, транспортировки и использования по сравнению с твердым топливом, развитием транспорта всех видов; возможностью развитых стран получать большие прибыли за счет эксплуатации нефтяных месторождений стран третьего мира. Поэтому ожидать существенного снижения объемов потребления нефти и газа как топлив в ближайшем будущем не приходится. Нефть – «черное золото» – является скрытой причиной многих современных международных конфликтов, из-за нее происходят революции и смены правительств. Данные о структуре мировых запасов органического топлива приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Доказанные мировые запасы основных видов органических топлив

Наименование	Мировой технический ресурс	Доля в мировом энергобалансе, %
Уголь	650 млрд. т у. т.	23
Нефть	150 млрд. т у. т.	39 (добывается более 4 млрд./год)
Природный газ	90 млрд. т у. т.	23

В настоящее время объем энергопотребления составляет около **15 млрд. т у. т.** К 2020 г. прогнозируется повышение этой величины до 19 млрд. т у. т./год. Так как темпы роста энергопотребления в последнее время значительно снизились, то существующих запасов только органического топлива человечеству должно хватить примерно на **200 – 300** лет. При этом с учетом сохранения современной структуры потребления различных энергоносителей нефти хватит на 140 лет, газа – на 170 лет, углей всех видов – на 300 лет. Несмотря на то, что запасы угля существенно превышают запасы нефти и природного газа, и на то, что уголь гораздо менее ценен с точки зрения нефтехимического производства, суммарная доля нефти и природного газа в структуре мирового топливно-энергетического баланса на сегодняшний день превышает долю всех остальных энергоресурсов (более 60 %).

Запасы ядерного горючего. На планете есть значительные запасы тория и урана, но поскольку торий пока не нашел практического применения в энергетике, оцениваются только запасы урана, который очень широко распространен на Земле, но в сильно рассеянном виде (в низкой концентрации содержится в воде и различных породах). Расчеты специалистов США показывают, что ресурсы извлекаемого ядерного топлива очень велики. Если ограничить цену 1 кг природного металлического урана \$ 200 и использовать реакторы на тепловых нейтронах, то ресурсы природного урана по энергоемкости примерно эквивалентны извлекаемым ресурсам всего органического топлива. Если же

принять максимально допустимую цену за 1 кг природного урана равной \$ 500 и считать, что будут использоваться реакторы на быстрых нейтронах, то извлекаемые ресурсы природного урана оказываются в 1000 раз выше по энергоёмкости, чем все запасы органических топлив.

- Разведанные ресурсы природного урана – 5 млн. т.
- Прогнозируемые ресурсы природного урана – 25 млн. т.
- Ресурсы с учетом запасов урана в мировом океане – 2500 млн. т.

По прогнозам начала 1980-х гг. доля ядерного топлива в структуре мирового ТЭК в 2020 г. должна была бы составить 36 – 40 %. Однако авария на ЧАЭС в 1986 г. так сильно повлияла на общественное мнение и отношение к атомной энергетике, что, по прогнозам уже 1990-х гг., доля атомной энергии в 2020 г. не должна превысить 6 %. В настоящее время, доля атомной энергии в мировом энергетическом балансе составляет около 5 %. То есть авария на ЧАЭС, по сути, локальная катастрофа, ускорила процесс глобального потепления на планете и приблизила время глобальных проблем. Тем не менее современная ситуация дефицита энергоресурсов вынуждает к интенсивному развитию атомной энергетике. Разработаны новые поколения ядерных реакторов и АЭС повышенной безопасности. Так, в РФ в течение ближайших 30 лет планируется ввод в действие 25 крупных атомных электростанций.

Общие ресурсы топлива очень велики, и человечеству не придется столкнуться в обозримом будущем с энергетическим голодом. Проблема состоит в том, что необходима быстрая переориентация в приоритете тех или иных видов топлив для сохранения запасов сырьевой базы нефтехимии и предотвращения экологической катастрофы.

Потенциальные ресурсы возобновляемых источников энергии

Потенциал этих ресурсов значительно выше, чем суммарные запасы всех видов органических топлив и ядерного топлива. Естественно, полное использование этого потенциала невозможно, но, в принципе, человечество в будущем вполне сможет обеспечить себя энергией, используя только возобновляемые энергоисточники.

Энергия Солнца – 72 000 млрд. т у.т./год.

Гидравлическая энергия (реки, приливы, волны) – 3,6 млрд. т у. т./год.

Тепловая энергия океана – 72 млрд. т у. т./год.

Геотермальная энергия – 36 – 572 млрд. т у. т./год (только для районов вулканической деятельности).

Энергия ветра – 22 – 56 млрд. т у. т./год.

2.4. Энергоресурсы Республики Беларусь

Топливо подразделяют на следующие четыре группы: твердое; жидкое; газообразное; ядерное.

Самым первейшим видом твердого топлива были (а во многих местах остаются и в настоящее время) древесина и другие растения: солома, камыш, стебли кукурузы и т. п.

Первая промышленная революция, которая в XIX веке полностью преобразовала аграрные страны Европы, а затем и Америку, произошла в результате перехода от древесного топлива к ископаемому угольному. Потом пришла эра электричества. Открытие электричества оказало огромное влияние на жизнь человечества и обусловило зарождение и рост крупнейших городов мира.

Применение нефти (жидкий вид топлива) и природного газа в сочетании с развитием электроэнергетики, а затем и освоение энергии атома позволили промышленно развитым странам осуществить грандиозные преобразования, итогом которых стало формирование современного облика Земли.

Таким образом, к твердому виду топлива относят:

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

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

Торф. В республике разведано более 9 000 торфяных месторождений общей площадью в границах промышленной глубины залежи 2,54 млн. га и первоначальными запасами торфа 5,65 млрд. т. К настоящему времени оставшиеся геологические запасы оцениваются в 4 млрд. т, что составляет 70 % от первоначальных.

Основные запасы залегают в месторождениях, используемых сельским хозяйством (1,7 млрд. т, или 39 % оставшихся запасов) или отнесенных к природоохранным объектам (1,6 млрд. т, или 37 %).

Ресурсы торфа, отнесенные в разрабатываемый фонд, оцениваются в 250 млн. т, что составляет 5,5 % оставшихся запасов. Извлекаемые при разработке месторождений запасы оцениваются в 100 – 130 млн. т.

Приведенные данные свидетельствуют о значительных запасах торфа располагаемых республикой, однако **без пересмотра направлений использования имеющихся ресурсов использование торфа для энергетических целей нереально**. Основным потребителем торфяных брикетов является население. Учитывая имеющиеся ресурсы торфа и то, что брикеты относительно дешевый вид топлива, можно говорить о **целесообразности поддержания их производства на достигнутом уровне**. Однако в связи с выработкой запасов на ряде действующих брикетных заводов в ближайшей перспективе ожидается снижение объемов выпуска топливных брикетов. Частичная компенсация этого возможна за счет добычи кускового торфа, а также строительства мобильных заводов мощностью 5 – 10 тыс. т.

Для повышения коэффициента использования залежей торфа и таким образом увеличения извлекаемых его запасов, необходимо широкое внедрение новых направлений использования выработанных торфяных месторождений – выработка запасов торфа с оставлением 0,2 – 0,3 м защитного слоя, повторное заболачивание выработанных месторождений.

Без пересмотра направлений использования запасов торфа в сторону увеличения производства для энергетических целей объемы его производства для топливных целей не будут превышать 1,3 млн. т у. т. в год.

Бурые угли. По состоянию на 1 января 2003 года в неогеновых отложениях известно 3 месторождения бурых углей: Житковичское, Бриневское и Тонежское с общими запасами 151,6 млн. т.

Разведаны детально и подготовлены для промышленного освоения две залежи Житковичского месторождения: Северная (23,5 млн. т) и Найдинская (23,1 млн. т.), две другие (Южная – 13,8 млн. т и Кольменская – 8,6 млн. т) разведаны предварительно.

На базе Житковичского месторождения с учетом предварительно разведанных запасов возможно строительство буроугольного карьера годовой мощностью 2 млн. т (0,37 млн. т у. т.). Ориентировочная стоимость строительства первой очереди разреза мощностью в 1,2 млн. т в год (0,22 млн. т у. т.) составит 57 млн. долларов США, при увеличении мощности до 2 – 2,4 млн. т потребуются дополнительно 25,7 млн. долларов США. Угли низкокалорийные – низшая теплота сгорания рабочего топлива 1500 – 1700 ккал/кг, влажность – 56... 60 %, средняя зольность – 17... 23 %, пригодны для использования как коммунально-бытовое топливо после брикетирования совместно с торфом.

Разработка угольных месторождений возможна открытым способом, однако в ближайшей перспективе не рекомендована республиканской экологической комиссией, поскольку в результате вынужденного резкого снижения грунтовых вод возможный экологический ущерб из-за гибели лесных угодий, рыбных прудов, снижения урожайности сельхозугодий, запыленности территорий значительно превысит получаемые выгоды.

Горючие сланцы представляют собой полезное ископаемое, дающее при сухой перегонке значительное количество смолы, близкой по составу к нефти. Залежи горючих сланцев в Беларуси находятся на юге республики (Туровское месторождение в Гомельской области, Любанское – в Солигорском и Любанском районах Минской области), и открыты они в 1963 г. Прогнозные запасы составляют 11 млрд. т, в т. ч. промышленные на глубине 300 м – 3,6 млрд. т, что соответствует 792 млн. т у. т.

Прогнозные запасы горючих сланцев (Любанское и Туровское месторождения) оцениваются в 11 млрд. т, промышленные – 3 млрд. т. Наиболее изученным является Туровское месторождение, в пределах которого предварительно разведано первое шахтное поле с запасами 475 – 697 млн. т (1 млн. т таких сланцев эквивалентен примерно 220 тыс. т у. т.). Теплота сгорания – 1000... 1510 ккал/кг, зольность – 75 %, выход смол – 6... 9,2 %, содержание серы – 2,6 %.

По своим качественным показателям белорусские горючие сланцы не являются эффективным топливом из-за высокой их зольности и низкой теплоты сгорания. Они не пригодны для прямого сжигания, а требуют предварительной термической переработки с выходом жидкого и газообразного топлива. Стоимость получаемых продуктов (коксовый газ и сланцевое масло) на 30 % выше мировых цен на нефть с учетом ее доставки на территорию республики. Помимо сказанного следует отметить, что получаемая после термической переработки черная зола не пригодна для дальнейшего использования в сельском хозяйстве и строительстве, а из-за неполного извлечения органической массы в золе прослеживается содержание канцерогенных веществ.

В тоже время, США в марте 2010 года сообщила о разработанной и успешно проведенной ими подземной технологии получения сланцевого газа. Просверливается скважина вдоль подземного пласта горючих сланцев, в канале размещаются взрывчатые вещества и подрываются. В результате взрыва сланцевый пласт растрескивается. В каверны закачивается щелочной водный раствор силиката натрия. Под воздействием слабой щелочи горючие органические вещества вымываются из сланца и в виде сланцевого газа извлекаются на поверхность земли. Американцы предполагают широко применять у себя данную технологию получения сланцевого газа и полностью готовы отказаться-

ся от нефти и газа. Более того, они уже предложили странам Европы воспользоваться их наработками. К сожалению, европейские страны, из-за слишком большой плотности населения, не могут широко применять американскую технологию. Только Польша решила провести у себя подобное испытание. Учитывая низкую плотность заселения Республики Беларусь, наша страна могла бы оценить американскую технологию.

Жидкие виды топлива, получаемые путем переработки нефти. За счет энергоресурсов, расположенных на территории республики (нефть, попутный газ, торф, дрова, гидроэнергия), обеспеченность ими в 2002 году составила 15,1 %, что соответствует 5,2 млн. т у. т.

Сырую нефть нагревают до 300... 370 °С, после чего полученные пары разгоняют на фракции, конденсирующиеся при различной температуре: сжиженный газ (выход около 1 %); бензиновая (около 15 %, $t_K = 30... 180$ °С); керосиновая (около 17 %, $t_K = 120... 135$ °С); дизельная (около 18 %, $t_K = 180... 350$ °С).

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

Разведанные **месторождения нефти** на территории Беларуси сосредоточены в нефтегазоносной области – Припятской впадине, площадь которой около 30 тыс. км². Начальные извлекаемые ресурсы нефти были оценены в 355,56 млн. т. В промышленные категории переведено 46 % указанных ресурсов. В период с 1965 года по 2002 были открыты 185 месторождений с залежами нефти, 64 из которых имеют суммарные запасы 168 млн. т. Соответственно неразведанные ресурсы нефти оцениваются на уровне 187,56 млн. т. С начала разработки добыто 108 млн. т нефти и 11,3 млрд. м² попутного газа, остаточные запасы нефти промышленных категорий составляют 58 млн. т, попутного газа – 34,3 млн. м³.

Основная часть нефти (96 %) добывается (в последнее время более 1,8 млн. т в год) из активных остаточных запасов, которые составляют 26 млн. т (41 %). Обеспеченность активными запасами составляет 15 лет, а вместе с трудноизвлекаемыми (низкопроницаемые коллекторы, обводненность более 80 % и высокая вязкость) – 31 год.

Прогнозируемые объемы годовой добычи нефти в млн. т составят: 2010 – 1,47; 2015 – 1,27; 2020 году – 1,08.

Уровень добычи попутного газа на 2002 год составлял 246 млн. м³, в 2005 – 230 млн. м³, в 2010 г. – снизится до 204 млн. м³, в 2015 – до 177 млн. м³, в 2020 году – до 150 млн. м³.

Газообразными видами топлива являются природный газ, добываемый как непосредственно, так и попутно с добычей нефти, называемый

попутным. Основным компонентом природного газа является метан CH_4 и в небольшом количестве азот N_2 , высшие углеводороды, двуокись углерода. Попутный газ содержит меньше метана, чем природный, но больше высших углеводородов, и поэтому выделяет при сгорании больше теплоты.

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

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

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

Анализ оценки обеспеченности ТЭР показывает, что наиболее дефицитным видом топлива является нефть. Ее хватит по разным источникам на 50 – 140 лет. Затем, через 35 – 64 года, истощатся запасы горючего газа и урана. Лучше всего обстоит дело с углем, запасы которого в мире достаточно велики, и обеспеченность углем составит 200 – 400 лет.

Контрольные вопросы

1. Какие виды ТЭР относятся к первичными энергоресурсами?
2. Назовите традиционные виды энергии?
3. Назовите нетрадиционные виды энергии?

4. Что такое «невозобновляемые энергоресурсы»?
5. Что такое «возобновляемые энергоресурсы»?
6. Что такое «органические топлива»?
7. Низшая удельная теплота сгорания топлива, формула Менделеева.
8. Дать определение низшей удельной теплоте сгорания топлива.
9. Дать определение высшей удельной теплоте сгорания топлива.
10. Что такое «условное топливо»?
11. Что такое «калорийный коэффициент», он же «нефтяной коэффициент»?
12. Чем обусловлено явление «парникового» эффекта?
13. Что такое «общие» ресурсы органического топлива?
14. Что такое «извлекаемые» ресурсы органического топлива?
15. Назовите энергоресурсы Республики Беларусь.

РАЗДЕЛ № 3. ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

3.1. Назначение и основные типы электростанций

Возможности и способы получения, а правильнее сказать, преобразования энергии человечество изучает и осваивает не одну сотню лет. Производство энергии предполагает ее получение в удобном для использования виде, а сам процесс получения – только преобразование из одного вида в другой. Процесс конечного потребления энергии также заключается лишь в трансформации ее вида и/или качества.

Наиболее удобным из известных в настоящее время видов энергии является электроэнергия, которая по праву может считаться основой индустриальной цивилизации. Она обладает уникальным комплексом свойств, которые делают ее незаменимой как в производстве, так и в повседневной жизни человека. Во-первых, электроэнергия универсальна, то есть может использоваться в самых различных целях. С помощью несложных приборов и устройств ее можно преобразовать в механическую, тепловую, электромагнитную и химическую энергию. Во-вторых, электроэнергию относительно легко передавать на большие расстояния и распределять между потребителями, а учет ее расхода реализуется на базе простых, недорогих и обладающих при этом высокой точностью измерительных приборов. Еще одним ценным достоинством электрической энергии является возможность бесконечного дробления и концентрирования ее мощности, изменения напряжения и других рабочих параметров.

Количество потребляемой в мире электроэнергии стабильно увеличивается, причем темпы роста электропотребления превышают темпы роста потребления первичных энергоресурсов. Это вызвано указанными преимуществами электроэнергии, которые приводят к постепенному вытеснению других видов энергии, в частности органического топлива и тепловой энергии, из структуры энергоносителей, используемых конечными потребителями, и обеспечивается появлением новых и совершенствованием существующих способов производства электроэнергии.

Основная часть электроэнергии вырабатывается централизованно на электростанциях. Электростанцией называется совокупность установок, оборудования и аппаратуры, используемых непосредственно для производства электрической энергии, а также необходимые для этого сооружения и здания, расположенные на определенной территории. Выработка

электроэнергии на электростанциях осуществляется путем преобразования первичной энергии (энергии, заключенной в первичных энергоресурсах). При этом традиционная энергетика базируется на использовании соответственно традиционных ПЭР: гидроэнергии крупных рек, ресурсов органического и ядерного топлива. Для использования различных видов ПЭР применяются разные типы электростанций; в названии типа обычно содержится указание на источник первичной энергии, например:

- **ТЭС – тепловая электростанция** вырабатывает электроэнергию в результате преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива;
- **АЭС – атомная электростанция** вырабатывает электроэнергию путем преобразования энергии ядерного топлива;
- **ГЭС – гидравлическая электростанция** преобразует гидравлическую энергию (механическую энергию движения воды) в электроэнергию.

Указанные типы станций составляют основу современной электроэнергетики и обеспечивают более 95 % мировых потребностей в электроэнергии.

3.2. Тепловые электростанции

Тепловая электростанция (ТЭС), электростанция, вырабатывающая электрическую энергию в результате преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива. Первые ТЭС появились в конце XIX в. и получили преимущественное распространение. В середине 70-х гг. XX в. ТЭС – основной вид электрической станции. Доля вырабатываемой ими электроэнергии составляла в России и США свыше 80 % (1975), в мире – около 76 % (1973).

Около 95 % всей электроэнергии Беларуси производится на тепловых электростанциях. Большинство городов Беларуси снабжаются именно ТЭС. Часто в городах используются ТЭЦ – теплоэлектроцентрали, производящие не только электроэнергию, но и тепло в виде горячей воды. Такая система является довольно-таки непрактичной, т. к., в отличие от электрического кабеля, надежность теплотрасс чрезвычайно низка на больших расстояниях, эффективность централизованного теплоснабжения сильно снижается вследствие уменьшения температуры теплоносителя. Подсчитано, что при протяженности теплотрасс более 20 км (типичная ситуация для большинства городов) установка электрического бойлера в отдельно стоящем доме становится экономически выгодна.

На тепловых электростанциях преобразуется химическая энергия топлива сначала в механическую, а затем в электрическую.

Топливом для ТЭС могут служить уголь, торф, газ, горючие сланцы, мазут. Тепловые электрические станции подразделяют на конденсационные (КЭС), предназначенные для выработки только электрической энергии, и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), производящие кроме электрической тепловую энергию в виде горячей воды и пара. Крупные КЭС районного значения получили название государственных районных электростанций (ГРЭС).

Простейшая принципиальная схема КЭС, работающей на угле, представлена на рис. 3.1. Уголь подается в топливный бункер 1, а из него – в дробильную установку 2, где превращается в пыль. Угольная пыль поступает в топку парогенератора (парового котла) 3, имеющего систему трубок, в которых циркулирует химически очищенная вода, называемая питательной. В котле вода нагревается, испаряется, а образовавшийся насыщенный пар доводится до температуры 400 – 650 °С и под давлением 3 – 24 МПа поступает по паропроводу в паровую турбину 4.

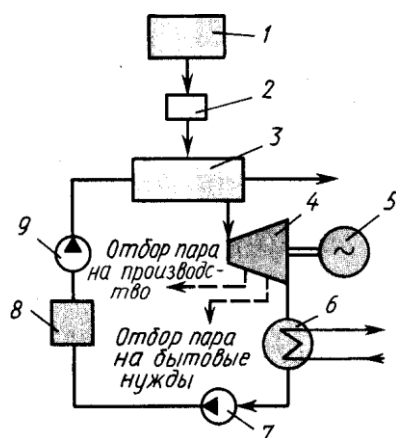


Рис. 3.1. Принципиальная схема КЭС, работающей на угле

Параметры пара зависят от мощности агрегатов.

На рис. 3.2 представлена принципиальная тепловая схема КЭС. В котле при сжигании топлива, выделяется тепловая энергия, которая преобразуется во внутреннюю энергию водяного пара (в зависимости от мощности ТЭС могут получать пар давлением более 200 атм. и с температурой более 550 °С). В турбине Т водяная энергия пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора турбины. Вал турбины соединен с валом электрогенератора Г, в котором механическая энергия вращения ротора преобразуется в электрическую энергию. При расширении в турбине пар теряет давление и температуру. На выходе из турбины пар имеет температуру около 25 °С и давление порядка 0,04 атм. Для того, чтобы вернуть этот пар в рабочий цикл, его конденсируют

в конденсаторе К и полученную воду насосом Н, повышая давление до рабочего (200 атм.), возвращают в котел-парогенератор.

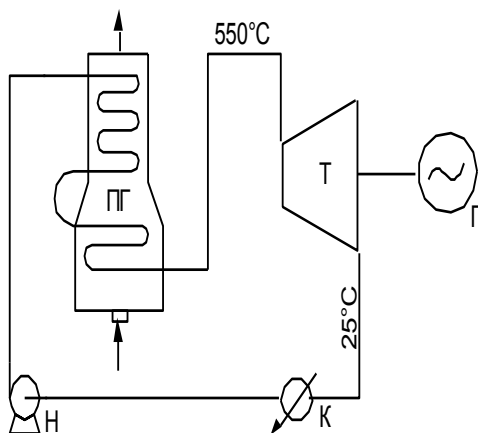


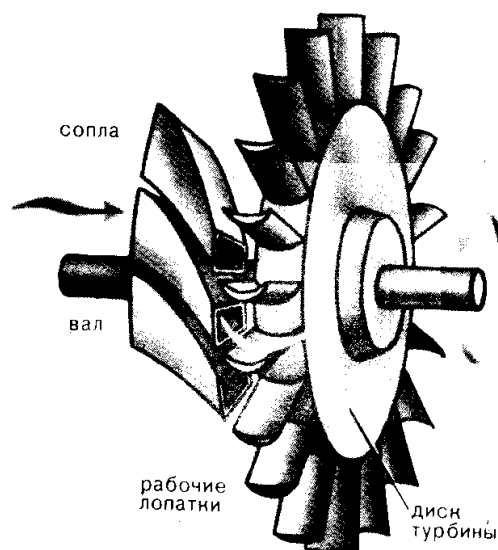
Рис. 3.2. Принципиальная тепловая схема КЭС.
Основное оборудование: котел-парогенератор – ПГ,
турбина – Т, генератор – Г, конденсатор – К, насос – Н

В турбине способ преобразования тепловой энергии пара в механическую состоит в следующем. Пар высокого давления и температуры, имеющий большую тепловую энергию, из котла поступает в сопла турбины. Сопла – это неподвижно укрепленные, не вращающиеся вместе с валом турбины, выполненные из металла каналы, в которых температура и давление пара уменьшаются, а значит, уменьшается и его тепловая энергия, но зато возрастает скорость движения потока пара.

Таким образом, за счет уменьшения тепловой (внутренней, потенциальной) энергии пара возрастает его механическая (кинетическая) энергия. Струя пара с высокой скоростью вытекает из сопел и поступает на рабочие лопатки турбины, укрепленные на диске, жестко связанном с валом. Вал, диск и рабочие лопатки вращаются совместно с большой скоростью (3000 об./мин). Скорость потока пара на рабочих лопатках, его механическая энергия уменьшается следующим образом. Канал между рабочими лопатками криволинейен. Поток пара, протекая по криволинейному каналу, меняет направление и величину скорости. При этом он оказывает давление на вогнутые поверхности лопаток. Вследствие этого рабочие лопатки, диск, вал – весь ротор приходит во вращение.

Тепловые конденсационные электростанции имеют невысокий КПД (30 – 40 %), так как большая часть энергии теряется с отходящими топочными газами и охлаждающей водой конденсатора. Сооружать КЭС выгодно в непосредственной близости от мест добычи топлива. При этом потребители электроэнергии могут находиться на значительном расстоянии от станции.

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) отличается от конденсационной станции (КЭС) установленной на ней специальной теплофикационной турбиной с отбором пара. На ТЭЦ одна часть пара полностью используется в турбине для выработки электроэнергии в генераторе 5 (см. рис. 3.1) и затем поступает в конденсатор 6, а другая, имеющая большую температуру и давление (на рисунке отображено штриховой линией), отбирается от промежуточной ступени турбины и используется для теплоснабжения. Конденсат насосом 7 через деаэратор 8 и далее питательным насосом 9 подается в парогенератор. Количество отбираемого пара зависит от потребности предприятий в тепловой энергии.



Коэффициент полезного действия ТЭЦ достигает 60 – 70 %.

Такие станции строят обычно вблизи потребителей – промышленных предприятий или жилых массивов. Чаще всего они работают на привозном топливе.

Рассмотренные тепловые электростанции по виду основного теплового агрегата – паровой турбины – относятся к паротурбинным станциям. Значительно меньшее распространение получили тепловые станции с газотурбинными (ГТУ), парогазовыми (ПГУ) и дизельными установками.

Наиболее экономичными являются крупные тепловые паротурбинные электростанции (сокращенно ТЭС). Большинство ТЭС нашей страны используют в качестве топлива угольную пыль. Для выработки 1 кВт·ч электроэнергии затрачивается несколько сот граммов угля. В паровом котле свыше 90 % выделяемой топливом энергии передается пару. В турбине кинетическая энергия струй пара передается ротору. Вал турбины жестко соединен с валом генератора.

Современные паровые турбины для ТЭС — весьма совершенные, быстроходные, высокоэкономичные машины с большим ресурсом работы. Их мощность в одновальном исполнении достигает 1 млн. 200 тыс. кВт, и это не является пределом. Такие машины всегда бывают многоступенчатыми, т. е. имеют обычно несколько десятков дисков с рабочими лопатками и такое же количество, перед каждым диском, групп сопел, через которые протекает струя пара. Давление и температура пара постепенно снижаются.

Из курса физики известно, что КПД тепловых двигателей увеличивается с ростом начальной температуры рабочего тела. Поэтому поступающий в турбину пар доводят до высоких параметров: температуру – почти до 550 °С и давление – до 25 МПа. Коэффициент полезного действия ТЭС достигает 40 %. Большая часть энергии теряется вместе с горячим отработанным паром.

По мнению ученых в основе энергетики ближайшего будущего по-прежнему останется теплоэнергетика на невозобновляемых ресурсах. Но структура ее изменится. Должно сократиться использование нефти. Существенно возрастет производство электроэнергии на атомных электростанциях. Начнется использование пока еще не тронутых гигантских запасов дешевых углей, например, в Кузнецком, Канско-Ачинском, Экибастузском бассейнах. Широко будет применяться природный газ, запасы которого в России намного превосходят запасы в других странах.

К сожалению, запасы нефти, газа, угля отнюдь не бесконечны. Природе, чтобы создать эти запасы, потребовались миллионы лет, израсходованы они будут за сотни лет. Сегодня в мире стали всерьез задумываться над тем, как не допустить хищнического разграбления земных богатств. Как сказал великий русский ученый Д.И. Менделеев: **«Топить нефтью – все равно, что топить ассигнациями».**

3.3. Гидроэлектростанции

Гидроэлектрическая станция, гидроэлектростанция (ГЭС), комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия потока воды преобразуется в электрическую энергию. ГЭС состоит из последовательной цепи гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимую концентрацию потока воды и создание напора, и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в механическую энергию вращения, которая, в свою очередь, преобразуется в электрическую энергию. Напор ГЭС создается концентрацией падения реки на используемом участке плотиной (рис. 3.3), либо деривацией (рис. 3.4), либо плотиной и деривацией совместно. Основное энергетическое оборудование ГЭС размещается в здании ГЭС: в машинном зале электростанции – гидроагрегаты, вспомогательное оборудование, устройства автоматического управления и контроля; в центральном посту управления – пульт оператора-диспетчера или автооператор гидроэлектростанции.

Повышающая трансформаторная подстанция размещается как внутри здания ГЭС, так и в отдельных зданиях или на открытых площадках. Распреде-

лительные устройства зачастую располагаются на открытой площадке. Здание ГЭС может быть разделено на секции с одним или несколькими агрегатами и вспомогательным оборудованием, отделенные от смежных частей здания.

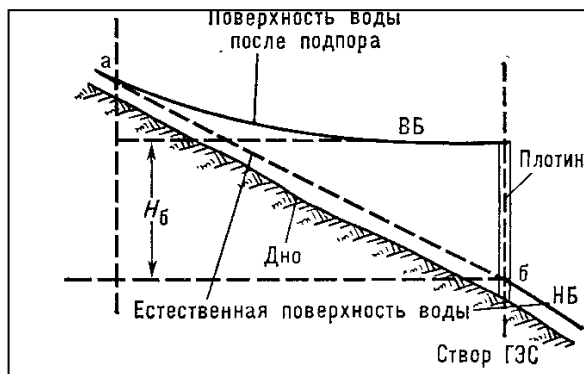


Рис. 3.3. Схема концентрации падения реки плотиной: ВБ – верхний бьеф; НБ – нижний бьеф; H_b – напор брутто

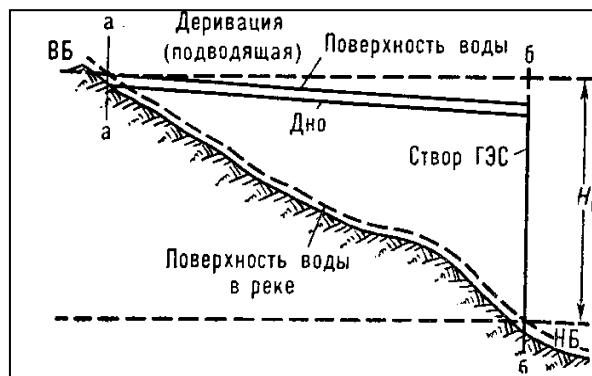


Рис. 3.4. Схема концентрации падения реки деривацией (подводящей): ВБ – верхний бьеф; НБ – нижний бьеф; H_b – напор брутто

При здании ГЭС или внутри него создается монтажная площадка для сборки и ремонта различного оборудования, вспомогательных операций по обслуживанию ГЭС.

По установленной мощности (в МВт) различают ГЭС мощные (св. 250), средние (до 25) и малые (до 5). Мощность ГЭС зависит от напора H_b (разности уровней верхнего и нижнего бьефа), расхода воды, используемого в гидротурбинах, и КПД гидроагрегата. По ряду причин (вследствие, например сезонных изменений уровня воды в водоемах, непостоянства нагрузки энергосистемы, ремонта гидроагрегатов или гидротехнических сооружений и т. п.) напор и расход воды непрерывно меняются. Кроме того, меняется расход при регулировании мощности ГЭС. Различают годичный, недельный и суточный циклы режима работы ГЭС.

По максимально используемому напору ГЭС делятся на высоконапорные (более 60 м), средненапорные (от 25 до 60 м) и низконапорные (от 3 до 25 м). На равнинных реках напоры редко превышают 100 м, в горных условиях посредством плотины можно создавать напоры до 300 м и более, а с помощью деривации – до 1500 м. Классификация по напору приблизительно соответствует типам применяемого энергетического оборудования: на высоконапорных ГЭС применяют ковшовые и радиально-осевые турбины с металлическими спиральными камерами; на средненапорных – поворотлопастные и радиально-осевые турбины с железобетонными и металлическими спиральными камерами, на низконапорных – поворотлопаст-

ные турбины в железобетонных спиральных камерах, иногда горизонтальные турбины в капсулах или в открытых камерах. Подразделение ГЭС по используемому напору имеет приблизительный, условный характер.

По схеме использования водных ресурсов и концентрации напоров ГЭС обычно подразделяют на русловые, приплотинные, деривационные с напорной и безнапорной деривацией, смешанные, гидроаккумулирующие и приливные. В русловых и приплотинных ГЭС напор воды создается плотиной, перегораживающей реку и поднимающей уровень воды в верхнем бьефе. При этом неизбежно некоторое затопление долины реки. В случае сооружения двух плотин на том же участке реки площадь затопления уменьшается. На равнинных реках наибольшая экономически допустимая площадь затопления ограничивает высоту плотины. Русловые и приплотинные ГЭС строят и на равнинных многоводных реках и на горных реках, в узких сжатых долинах.

В состав сооружений русловой ГЭС, кроме плотины, входят здание ГЭС и водосбросные сооружения. Состав гидротехнических сооружений зависит от высоты напора и установленной мощности. У русловой ГЭС здание с размещенными в нем гидроагрегатами служит продолжением плотины и вместе с ней создает напорный фронт. При этом с одной стороны к зданию ГЭС примыкает верхний бьеф, а с другой – нижний бьеф. Подводящие спиральные камеры гидротурбин своими входными сечениями закладываются под уровнем верхнего бьефа, выходные же сечения отсасывающих труб погружены под уровнем нижнего бьефа.

В соответствии с назначением гидроузла в его состав могут входить судоходные шлюзы или судоподъемник, рыбопропускные сооружения, водозаборные сооружения для ирригации и водоснабжения. В русловых ГЭС иногда единственным сооружением, пропускающим воду, является здание ГЭС. В этих случаях полезно используемая вода последовательно проходит входное сечение с мусорозадерживающими решетками, спиральную камеру, гидротурбину, отсасывающую трубу, а по специальным водоводам между соседними турбинными камерами производится сброс паводковых расходов реки. Для русловых ГЭС характерны напоры до 30 – 40 м к простейшим русловым ГЭС относятся также ранее строившиеся сельские ГЭС небольшой мощности. На крупных равнинных реках основное русло перекрывается земляной плотиной, к которой примыкает бетонная водосливная плотина и сооружается здание ГЭС. Такая компоновка типична для многих российских ГЭС на больших равнинных реках. Волжская ГЭС – наиболее крупная среди станций руслового типа.

При более высоких напорах оказывается нецелесообразным передавать на здание ГЭС гидростатическое давление воды. В этом случае применяется

тип плотинной ГЭС, у которой напорный фронт на всем протяжении перекрывается плотиной, а здание ГЭС располагается за плотиной, примыкает к нижнему бьефу (рис. 3.6). В состав гидравлической трассы между верхним и нижним бьефом ГЭС такого типа входят глубинный водоприемник с мусороудерживающей решеткой, турбинный водовод, спиральная камера, гидротурбина, отсасывающая труба. В качестве дополнительных сооружений в состав узла могут входить судоходные сооружения и рыбоходы, а также дополнительные водосбросы. Примером подобного типа станций на многоводной реке служит Братская ГЭС на реке Ангара (РФ).

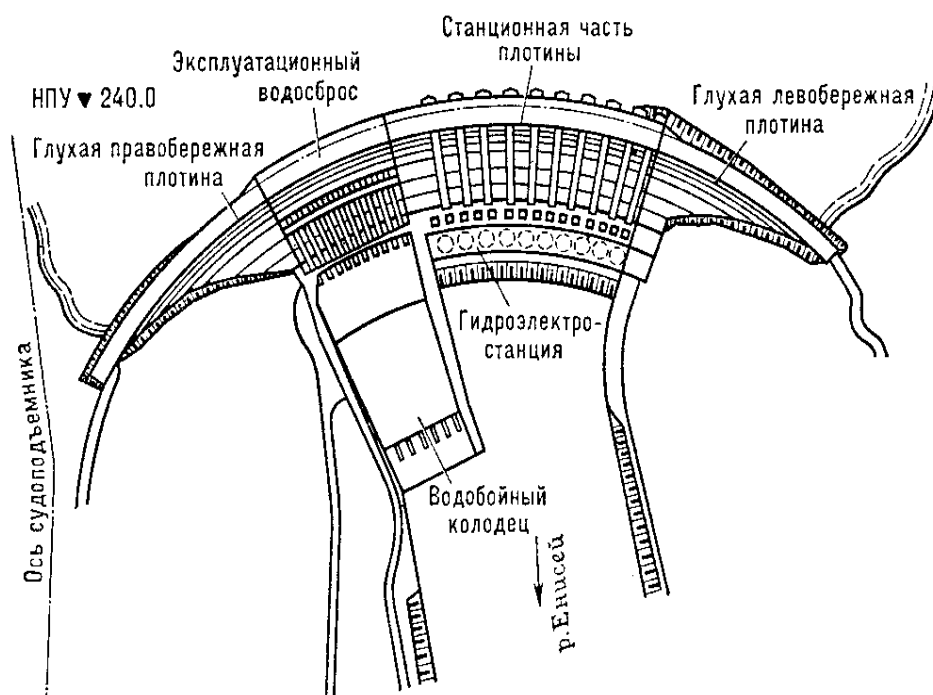


Рис. 3.6. План Саянского узла

По характеру использования воды и условиям работы различают ГЭС на бытовом стоке без регулирования, с суточным, недельным, сезонным (годовым) и многолетним регулированием. Отдельные ГЭС или каскады ГЭС, как правило, работают в системе совместно с конденсационными электростанциями (КЭС), теплоэлектроцентралями (ТЭЦ), атомными электростанциями (АЭС), газотурбинными установками (ГТУ), причем в зависимости от характера участия в покрытии графика нагрузки энергосистемы ГЭС могут быть базисными, полупиковыми и пиковыми.

Важнейшая особенность гидроэнергетических ресурсов по сравнению с топливно-энергетическими ресурсами – их непрерывная возобновляемость. Отсутствие потребности в топливе для ГЭС определяет низкую себестоимость вырабатываемой на ГЭС электроэнергии. Поэтому соору-

жению ГЭС, несмотря на значительные, удельные капиталовложения на 1 кВт установленной мощности и продолжительные сроки строительства, придавалось и придается большое значение, особенно когда это связано с размещением электроемких производств.

Одни из первых гидроэлектрических установок мощностью всего в несколько сотен Вт были сооружены в 1876 – 81 гг. в Штангассе и Лауфене (Германия), Грейсайде (Англия). Развитие ГЭС и их промышленное использование тесно связано с проблемой передачи электроэнергии на расстояние: как правило, места, наиболее удобные для сооружения ГЭС, удалены от основных потребителей электроэнергии. Протяженность существовавших в то время линий электропередач не превышала 5 – 10 км, самая длинная линия – 57 км.

В России существовали, но так и не были реализованы детально разработанные проекты ГЭС русских ученых Ф.А. Пироцкого, И.А. Тиме, Г.О. Графтио, И.Г. Александрова и др., предусматривавших, в частности, использование порожистых участков рек Днепр, Волхов, Западная Двина, Вуокса и др.

Первая промышленная ГЭС в России мощностью около 0,3 МВт (300 кВт) была построена в 1895 – 96 гг. под руководством русских инженеров В.Н. Николева и Р.Э. Классона для электроснабжения Охтинского порохового завода в Петербурге.

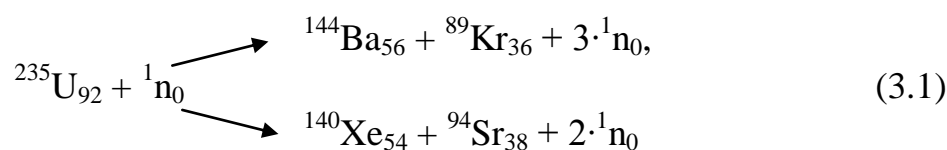
В 60-х гг. прошлого века наметилась тенденция к снижению доли ГЭС в общем мировом производстве электроэнергии и все большему использованию ГЭС для покрытия пиковых нагрузок. К 1970 г. всеми ГЭС мира производилось около 1000 млрд. квт-ч электроэнергии в год. Причем, начиная с 1960 г. доля ГЭС в мировом производстве снижалась в среднем за год примерно на 0,7 %. Особенно быстро снижается доля ГЭС в общем производстве электроэнергии в ранее традиционно считавшихся «гидроэнергетическими» странах (Швейцария, Австрия, Финляндия, Япония, Канада, отчасти Франция), т. к. их экономический гидроэнергетический потенциал практически исчерпан.

3.4. Атомные электростанции

Атомная электростанция (АЭС) – комплекс технических сооружений, предназначенных для выработки электрической энергии путем использования энергии, выделяемой при контролируемой ядерной реакции.

Генератором энергии на АЭС является атомный реактор. Тепло, которое выделяется в реакторе в результате цепной реакции деления ядер некоторых тяжелых элементов, затем так же, как и на обычных тепловых электростанциях (ТЭС), преобразуется в электроэнергию. В отличие от

ТЭС, работающих на органическом топливе, АЭС работает на ядерном горючем (в основе $^{233}\text{U}_{92}$, $^{235}\text{U}_{92}$, $^{239}\text{Pu}_{94}$).



В результате деления ядра урана, инициированного нейтроном, возникают новые нейтроны, которые вызывают реакции деления других ядер. Реакции подобного типа называются «цепными реакциями».

Ядерное топливо сжигается в реакторах атомных электростанций и теплоцентралей. На рис. 3.7 представлены схемы управляемой ядерной реакции (а) и канального ядерного реактора на тепловых нейтронах (б).

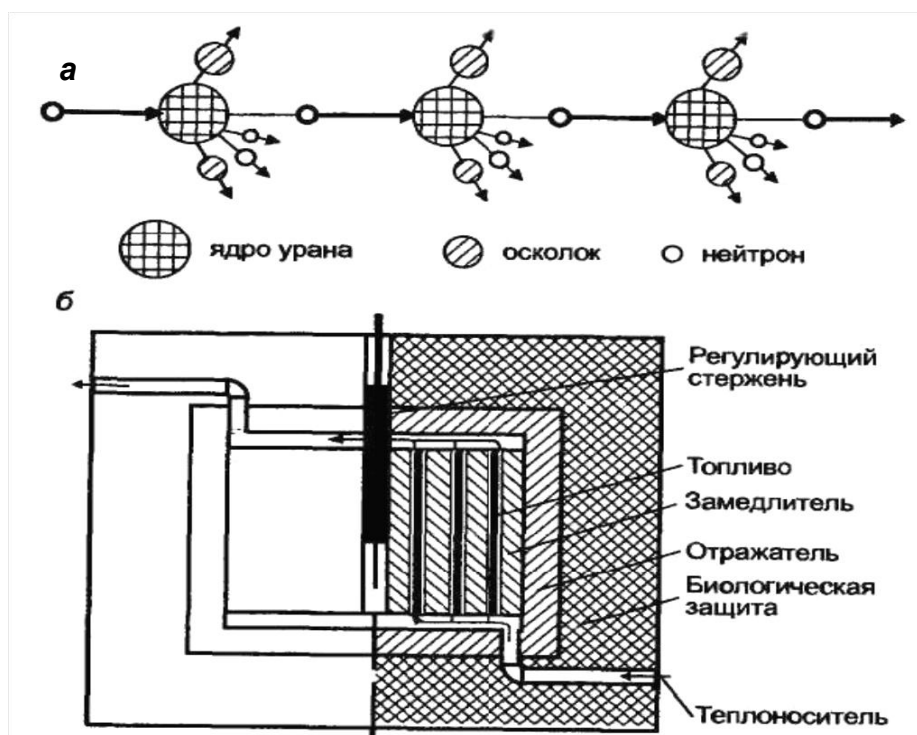


Рис. 3.7. Схема управляемой ядерной реакции (а) и канального ядерного реактора на тепловых нейтронах (б)

АЭС по своей сути также является тепловой электростанцией и имеет ту же принципиальную схему. Только вместо котла-парогенератора, в котором сжигается органическое топливо, используется ядерный реактор. Внутриядерная энергия превращается в тепловую энергию пара, которая затем – в механическую энергию вращения турбогенератора и в электрическую энергию. В качестве топлива используется обогащенный уран (основной компонент

U^{235}). Он помещается в топливные стержни. Между ними расположены графитовые стержни, с помощью которых контролируется интенсивность распада нейтронов (коэффициент размножения нейтронов). Все это помещено в толстостенную стальную оболочку (затем свинцовая, бетонная защита и т. д.). Водяной пар могут получать непосредственно в реакторе, когда вода омывает топливные элементы и испаряется. Но сейчас обычно используют расплавы щелочных и щелочноземельных металлов, которые циркулируют через реактор и специальные теплообменные аппараты, в которых вырабатывается водяной пар. При этом снижается уровень радиоактивного заражения используемого оборудования. Наличие термодинамического цикла на АЭС ограничивает КПД этой станции, как и обычных тепловых станций. Недостаток АЭС заключается также в отсутствии маневренности: пуск и остановка блоков и агрегатов этих станций требует значительных затрат времени и труда.

Установлено, что мировые энергетические ресурсы ядерного горючего (уран, плутоний и др.) существенно превышают энергоресурсы природных запасов органического топлива (нефть, уголь, природный газ и др.). Это открывает широкие перспективы для удовлетворения быстро растущих потребностей в топливе. Кроме того, необходимо учитывать все увеличивающийся объем потребления угля и нефти для технологических целей мировой химической промышленности, которая становится серьезным конкурентом тепловых электростанций. Несмотря на открытие новых месторождений органического топлива и совершенствование способов его добычи, в мире наблюдается тенденция к относительному, увеличению его стоимости. Это создает наиболее тяжелые условия для стран, имеющих ограниченные запасы топлива органического происхождения. Очевидна необходимость быстрее развития атомной энергетики, которая уже занимает заметное место в энергетическом балансе ряда промышленных стран мира. Первая в мире АЭС опытно-промышленного назначения мощностью 5 МВт была пущена в СССР 27 июня 1954 г в г. Обнинске. До этого энергия атомного ядра использовалась в военных целях.

Принципиальная схема АЭС с ядерным реактором, имеющим водяное охлаждение, приведена на рис. 3.8. Тепло, выделяется в активной зоне реактора, теплоносителем, вбирается водой (теплоносителем 1-го контура), которая прокачивается через реактор циркуляционным насосом 2. Нагретая вода из реактора поступает в теплообменник (парогенератор) 3, где передает тепло, полученное в реакторе, воде 2-го контура. Вода 2-го контура испаряется в парогенераторе, и образованный пар поступает в турбину 4.

При работе реактора концентрация делящихся изотопов в ядерном топливе постепенно уменьшается, и топливо выгорает. Поэтому со временем их заменяют свежими. Ядерное горючее перезагружают с помощью механизмов и приспособлений с дистанционным управлением. Отработавшее топливо переносят в бассейн выдержки, а затем направляют на переработку.

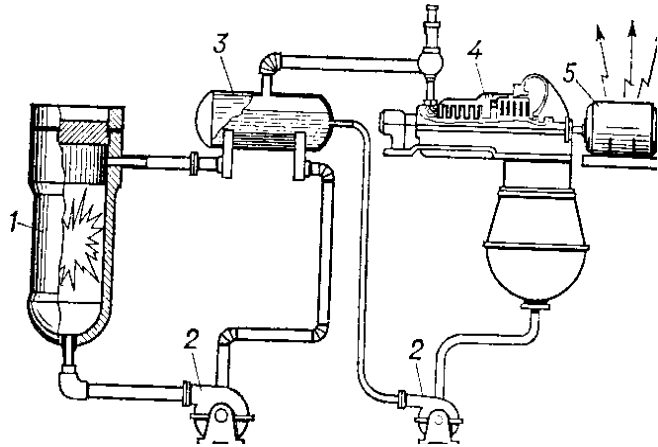


Рис. 3.8. Принципиальная схема АЭС:
1 – ядерный реактор; 2 – циркуляционный насос; 3 – теплообменник; 4 – турбина;
5 – генератор электрического тока

К реактору и обслуживающим его системам относятся: собственно реактор с биологической защитой, теплообменники, насосы или газодувные установки, осуществляющие циркуляцию теплоносителя; трубопроводы и арматура циркуляции контура; устройства для перезагрузки ядерного горючего; системы специальной вентиляции, аварийного расхолаживания и др.

Для предохранения персонала АЭС от радиационного облучения реактор окружают биологической защитой, основным материалом для которой служат бетон, вода, песок. Оборудование реакторного контура должно быть полностью герметичным. Предусматривается система контроля мест возможной утечки теплоносителя, принимают меры, чтобы появление неплотностей и разрывов контура не приводило к радиоактивным выбросам и загрязнению помещений АЭС и окружающей местности.

Оборудование реакторного контура обычно устанавливают в герметичных боксах, которые отделены от остальных помещений АЭС биологической защитой и при работе реактора не обслуживаются. Радиоактивный воздух и небольшое количество паров теплоносителя, обусловленное наличием протечек из контура, удаляют из необслуживаемых помещений АЭС специальной системой вентиляции, в которой для исключения возможности загрязнения атмосферы предусмотрены очистные фильтры и газгольдеры выдержки. За выполнением правил радиационной безопасности персоналом АЭС следит служба дозиметрического контроля.

При авариях в системе охлаждения реактора для исключения перегрева и нарушения герметичности оболочек ТВЭЛов предусматривают быстрое (в течение нескольких секунд) глушение ядерной реакции; аварийная система расхолаживания имеет автономные источники питания.

Наличие биологической защиты, систем специальной вентиляции аварийного расхолаживания и службы дозиметрического контроля позволяет полностью обезопасить обслуживающий персонал АЭС от вредных воздействий радиоактивного облучения.

В связи с тем, что теплоноситель и содержащиеся в нем примеси при прохождении через активную зону реактора активируются, конструктивное решение оборудования машинного зала и системы охлаждения конденсатора турбины одноконтурных АЭС должно полностью исключать возможность утечки теплоносителя.

Для труднодоступных районов страны весьма важным могло бы быть строительство малых ядерных электростанций, работающих в автоматическом режиме, а также плавучих атомных электростанций (рис. 3.9).

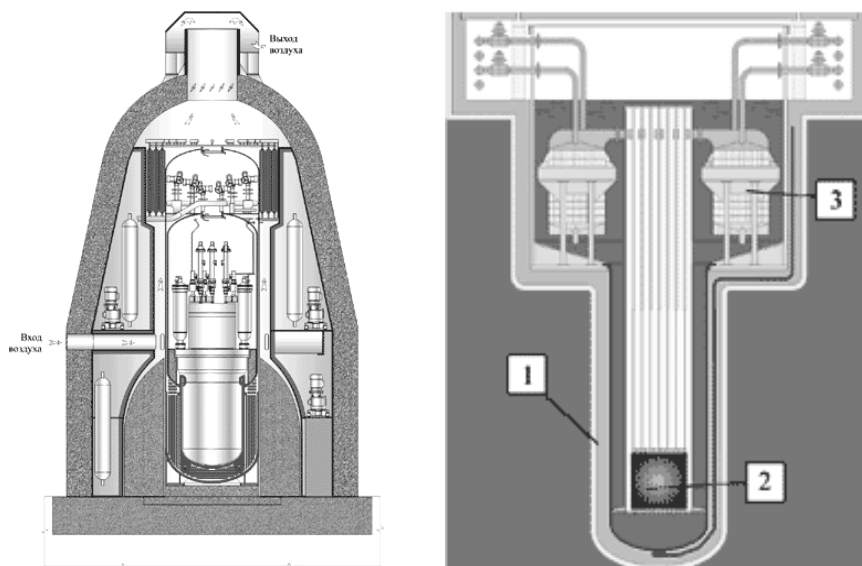


Рис. 3.9. Современные необслуживаемые АЭС

Будучи наиболее современным видом электростанций, АЭС имеют ряд существенных преимуществ перед другими видами электростанций: при нормальных условиях функционирования они абсолютно не загрязняют окружающую среду, не требуют привязки к источнику сырья и соответственно могут быть размещены практически везде. Новые энергоблоки имеют мощность практически равную мощности средней ГЭС, однако коэффициент использования установленной мощности на АЭС (80 %) значительно превышает этот показатель у ГЭС или ТЭС. Об экономичности и эффективности атомных электростанций может говорить тот факт, что из 1 кг урана можно получить столько же теплоты, сколько при сжигании примерно 3000 т каменного угля.

Значительных недостатков АЭС при нормальных условиях функционирования практически не имеют. Однако нельзя не отметить опасность АЭС при возможных форс-мажорных обстоятельствах: землетрясениях, ураганах, и т. п. – здесь старые модели энергоблоков представляют потенциальную опасность радиационного заражения территорий из-за неконтролируемого перегрева реактора.

Контрольные вопросы

1. Какие Вам известны основные типы электростанций, применяемых в Республике Беларусь?
2. Нарисуйте и объясните принципиальную схему КЭС, работающей на угле.
3. Нарисуйте и объясните принципиальную схему КЭС, работающей на газе.
4. В чем принципиальное отличие КЭС от ТЭЦ?
5. Оперативность подключения КЭС или ТЭЦ к государственной энергетической сети.
6. Какие слова произнес великий русский ученый Д.И. Менделеев по поводу сжигания нефтепродуктов?
7. Нарисуйте гидроэлектрическую станцию (ГЭС), объясните принцип ее работы.
8. Какая роль отводится ГЭС в покрытии графика нагрузки энергосистемы?
9. Нарисуйте схемы атомного распада ядра U^{235} и атомной электростанция (АЭС). Объясните принцип работы АЭС.
10. В чем принципиальное отличие АЭС от КЭС, ГЭС?
11. Что является топливом АЭС?
12. Как происходит замена ядерного топлива и утилизация продуктов ядерной реакции?
13. Как воздействует АЭС на окружающую среду?
14. Как воздействует ГЭС на окружающую среду?
15. Как воздействует ТЭС на окружающую среду?

РАЗДЕЛ № 4. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

ЧАСТЬ 1. БИОТОПЛИВО

4.0. Потенциал использования биомассы в Республике Беларусь

В настоящее время во многих странах мира наблюдается повышение интереса к возобновляемым источникам энергии. Это связано с непрерывно уменьшающимися запасами ископаемых энергоносителей, ухудшением экологии, связанным с газовыми выбросами, приводящими к парниковому эффекту, а также желанием многих стран освободить энергетические источники от влияния политической ситуации.

Республика Беларусь относится к категории стран, которые не обладают значительными собственными топливно-энергетическими ресурсами, собственные ресурсы ископаемых энергоносителей составляют не более 15 % от потребности. Доля природного газа в общем балансе ТЭР Беларуси превышает уровень 76 %, а в белорусской энергосистеме – 93 %. Республика Беларусь импортирует от 20 до 30 % потребляемой электроэнергии. В случае ограничения поставок ТЭР Республика Беларусь уже сейчас (для уровня цен 2000 г.) потерпит ущерб в виде недопроизводства ВВП в размере около 410 долларов США на одну тонну условного топлива. А это во много раз превышает стоимость недопоставленных энергоносителей.

Во многих странах мира энергетика на растительной и древесной биомассе становится эффективной самокупаемой отраслью, конкурентоспособной по отношению к энергетике на ископаемом топливе. Беларусь идеально подходит для развития биоэнергетики благодаря наличию больших массивов промышленного леса, равнинного ландшафта, хорошо развитой инфраструктуры распределения энергии и тепла, современных предприятий энергетического и общего машиностроения, а также высокого уровня технического образования населения.

В Беларуси биоэнергетика начинает интенсивно развиваться в условиях необходимости достичь определенного уровня энергетической безопасности и в полном соответствии положениям Международного соглашения об изменении глобального климата, подписанного Республикой. Развитие этой отрасли предопределено также следующими обстоятельствами:

– Политикой импортозамещения, когда часть долга и текущих оплат в твердой валюте за импортируемые энергоресурсы может быть снижена за счет производства и использования местных топлив.

– Заинтересованностью лесного хозяйства в потенциальном крупном и надежном потребителе большого объема отходов, топливной и неликвидной древесины, которые в настоящее время не находят сбыта, что не позволяет интенсифицировать лесозаготовительную и лесовосстановительную деятельность в условиях сохранения биологического разнообразия и здоровья лесов.

– Социальной выгодой, когда в рамках создания инфраструктуры новой отрасли будут созданы новые рабочие места (до 10 тыс. мест на млн. т у. т./год); и производства.

– Экологическим эффектом, т. к. будут снижены выбросы диоксида углерода в атмосферу (за счет биологического цикла фотосинтеза), оксидов серы и других загрязняющих веществ – при замещении топливного мазута.

Конечной целью развития биоэнергетики является создание собственного топливно-энергетического цикла на возобновляемых видах биотоплива с учетом экологических и экономических преимуществ данного направления.

Технически доступный потенциал биотоплива в Беларуси может покрыть до 8 – 10 % ожидаемого дефицита мощностей. Положительный опыт ряда стран, прежде всего, Скандинавских, в наращивании мощностей биоэнергетических станций, которые уже к 2005 году будут в среднем производить более 15 % энергии, говорит о том, что биоэнергетика рано или поздно займет свое место и в Беларуси.

4.1. Использование биотоплива в РБ

В качестве биотоплива могут быть использованы: биомасса древесины, отходы древесины, образующиеся при ее рубке и обработке, биомасса быстрорастущих кустарниковых и травянистых растений, лигнин, горючая часть коммунальных отходов, отходы, получаемые при мелиоративных работах, расчистке территорий под новое строительство, отходы растениеводства, горючие отходы перерабатывающей и пищевой промышленности, животноводства.

Газ мусорной свалки не является ископаемым горючим сырьем. Он образуется путем микробиологического распада органического материала на свалках. Это газ с очень интенсивным запахом, состоящий главным образом из горючего метана и двуокиси углерода. Из тонны мусора образуется около 150 – 250 м³ газа. На рис. 4.1 показана схема переработки мусора в метан и углекислый газ.

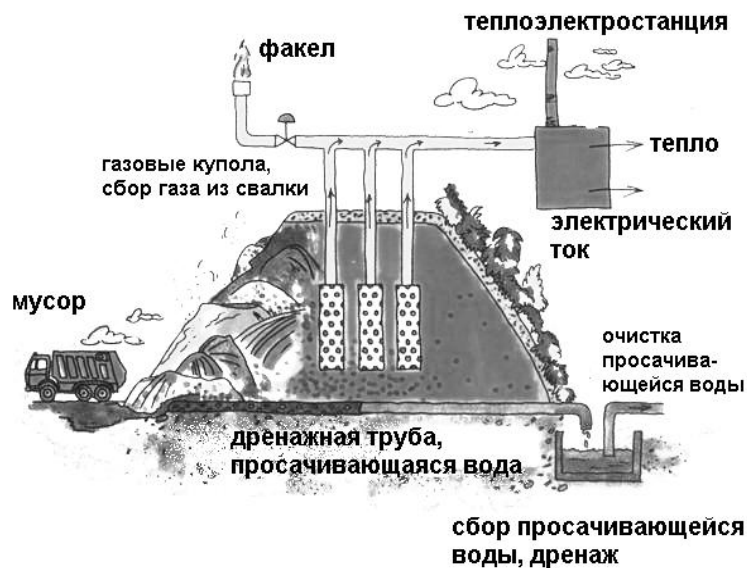


Рис. 4.1. Схема переработки мусора в метан и углекислый газ

Тепло же используется в хозяйстве транспортных предприятий. Благодаря использованию газа мусорного полигона, содержащего метан, удается избежать загрязнения окружающей среды углекислым газом (CO_2) в количестве почти 10 тыс. т и двуокисью серы (SO_2) в количестве более чем 50 т в год.

В целом по республике годовой объем централизованных заготовок дров и отходов лесопиления составляет около 0,94 – 1,0 млн. т у. т. в год. Часть дров поступает населению за счет самозаготовок, объем которых оценивается на уровне 0,3 – 0,4 млн. т у. т. в год.

К 2002 году в стране работало более 1350 малых и средних котельных на древесном топливе, которые обеспечивали общую тепловую нагрузку около 500 МВт за счет сжигания биомассы. В 2003 году на предприятиях всех форм собственности на местные виды топлива (дрова, торф, древесные отходы и т. д.) было переведено 289 котлов, что позволило увеличить использование дров и древесных отходов на 70 тыс. т у. т. В соответствии с Программой мер по переводу низкоэффективных котельных на местные виды топлива в 2004 году должны были быть переведены на местные виды топлива 722 котла, в том числе дополнительно установлены 374 котла, модернизированы 152 котла, заменены, как физически изношенные и неэкономичные 196 котлов. Объем замещения ТЭР местными видами топлива и нетрадиционными источниками энергии в 2004 году должен был быть увеличен на 300 тыс. т у. т. по сравнению с 2003 годом.

Биомасса быстрорастущих кустарниковых и травянистых растений и лигнина используется в настоящее время только для опытных и демонстрационных сжиганий в котлах различного типа.

4.2. Потенциал использования биотоплива в РБ

4.2.1 Древесина и отходы лесопиления

Основная часть биотоплива, которая может быть вовлечена в топливно-энергетический баланс для промышленной выработки электроэнергии и тепла – это древесно-топливные ресурсы «чистых» лесных территорий. В Беларуси леса занимают около 42 % территории. Запас растущей древесины составляет свыше 1,2 млрд. м³. Ежегодный сбор ликвидной древесины при лесозаготовительных работах достигает 4,5 млн. м³. Древесные обрезки и отходы древесины, образующиеся при рубке и обработке древесины, могут составлять до 40 – 50 % собранной биомассы. Эти компоненты представляют альтернативный топливный ресурс для энергетики.

По оценке ИПЭ НАНБ совместно с Министерством лесного хозяйства технически доступен для биоэнергетики в настоящее время объем отходов, эквивалентный приблизительно 1,5 млн. т у. т./год. Согласно официальным данным Белорусского энергетического института только 25 % этой величины используется в настоящее время.

К 2015 году потенциальные топливные ресурсы для биоэнергетики оцениваются в 2,7 – 3,0 млн. т у. т./год, к 2020 году – 3,7 млн. т у. т./год.

Около четверти лесных ресурсов страны находится в зоне, загрязненной в результате аварии на ЧАЭС. Использование биомассы отходов из этих лесов предполагает определенные ограничения на технологии энергетической утилизации древесной массы.

Проведенные исследования на крупных – до 200 кВт – экспериментальных стендах в США, Беларуси и Бельгии, а также на коммерческом энергоблоке в 18 МВт в Калифорнии и на промышленном котле (6 МВт) в г. Речица показали, что радиоактивность надежно контролируется в процессе конверсии путем применения известных, надежных и не дорогостоящих технологических решений.

Энергетический потенциал биомассы лесных территорий, загрязненных радионуклидами, составляет 240 тыс. т у. т. /год.

Предельные возможности республики по использованию древесных ресурсов в качестве топлива можно определить исходя из естественного годового прироста древесины, который приблизительно оценивается в 25 млн. м³ (включая древесину загрязненных территорий) или 6,6 млн. т у. т. в год (если сжигать все, что прирастает).

4.2.2 Плантационные посадки быстрорастущих энергорастений

Одним из перспективных направлений производства биотоплива признаны плантационные посадки быстрорастущих кустарниковых и травянистых энергорастений, для которых среднегодовой прирост биомассы превышает $25 \text{ м}^3/\text{га}$. Беларусь идеально подходит для развития этой отрасли биоэнергетики благодаря наличию крупного сельскохозяйственного производства, равнинного ландшафта, современных предприятий энергетического и общего машиностроения, а также высокого уровня технического образования населения.

По предварительным оценкам, в масштабах республики имеется около 100 тыс. га земель технически доступных в настоящее время для «энергетических» посадок, потенциал биомассы быстрорастущих кустарниковых и травянистых энергорастений может составить от 0,6 – 0,8 млн. т у. т./год.

Кроме того, в Беларуси имеется до 500 тыс. га малоценных и низкопродуктивных угодий, нерентабельных для выращивания сельхозпродукции. С учетом этой перспективы возможно увеличение «энергетических» посадок с получением до 4,0 млн. т у. т./год.

Потенциал биомассы быстрорастущих кустарниковых и травянистых растений может быть увеличен за счет использования:

- загрязненных и выведенных из оборота в результате аварии на ЧАЭС территорий Гомельской и Могилевской областей, которые составляют около 250 тыс. га, потенциальный объем производства биотоплива – до 2,0 млн. т у. т./год;
- неиспользованные площади лесного фонда (непокрытая лесом площадь в результате гибели насаждений, вырубок, пустырей и пр.) составляют около 200 тыс. га, потенциальный объем производства биотоплива – до 1,6 млн. т у. т./год;
- защитные полосы вдоль дорог и просек составляют около 100 тыс. га, потенциальный объем производства биотоплива – до 0,8 млн. т у. т./год.

Использование лигнина

Лигнин (от лат. lignum – дерево, древесина), природный полимер; входит в состав почти всех наземных растений и по распространенности среди природных высокомолекулярных соединений уступает только полисахаридам. Содержание лигнина в древесине хвойных и лиственных пород соответственно 23 – 38 % и 14 – 25 % по массе. Лигнин расположен в клеточных стенках и межклеточном пространстве растений и скрепляет целлюлозные волокна. Вместе с гемицеллюлозами он определяет механическую прочность

стволов и стеблей. Кроме того, лигнин снижает проницаемость клеточных стенок для воды и питательных веществ. Лигнин – аморфное вещество от светло-кремового до темно-коричневого цвета (в зависимости от способа выделения); молекулярная масса от 1 до 150 тыс., плотность 1,25 – 1,45 г/см³. Из растительных тканей лигнин может быть выделен: растворением углеводов (полисахаридных) компонентов, например их гидролизом в присутствии минеральных кислот (сернокислотный и солянокислый лигнин); действием так называемого медноаммиачного раствора и т. д.

Пути биосинтеза лигнина окончательно не выяснены. Биосинтез осуществляется под действием еще недостаточно изученных ферментных систем. Лигнин – конечный продукт метаболизма. В древесине он химически связан с полисахаридами (главным образом, с гемицеллюлозами), как предполагают, сложноэфирными, гликозидными и простыми бензилэфирными связями. Лигнин выделяется в больших количествах (в бывшем СССР более 2 млн. т/год) как побочный продукт в основных лесохимических производствах – целлюлозном и гидролизном. Широкого применения он пока не получил.

Использование лигнина, в том числе отвального, позволит вовлечь в топливный баланс Республики Беларусь до 100 тыс. т у. т./год.

4.2.3 Отходы промышленности

В дальнейшем возможно использование горючей части коммунальных отходов, отходов торфяной промышленности, отходов, получаемых при мелиоративных работах, расчистке территорий под новое строительство и осадков городских стоков, что позволит заместить до 900 – 960 тыс. т у. т./год импортируемого топлива.

Например, газ мусорного полигона «Вест» в Карлсруэ используется в блочной котельной. Три газовых двигателя производят более 8 млн. киловатт-часов электрической и почти 4 млн. киловатт-часов тепловой энергии в год. Этот ток, которого хватит на снабжение электроэнергией 3000 семей, подается в распределительную сеть.

Значительны также топливные ресурсы отходов растениеводства, горючих отходов перерабатывающей и пищевой промышленности, животноводства (до 1 млн. т у. т./год), однако эти ресурсы наиболее рационально могут быть использованы на месте.

4.2.4 Стратегия развития биоэнергетики

Наиболее благоприятные ресурсные, физические и технологические свойства, как топливо, имеет древесная масса, которая на ближайшую перспективу может стать основным топливом биоэнергетики.

Технико-экономические показатели энергетических установок на биотопливе иногда уступают ТЭС на ископаемых видах топлива и тем более АЭС и гидроэнергетике, особенно при низких ценах на импортируемые энергоресурсы. Однако, с учетом роста цен на углеводородное топливо (в 2 – 2,5 раза в ближайшее десятилетие), данный вид топлива становится перспективным и экономически рентабельным.

В качестве основных направлений технологического развития биоэнергетики на период до 2015 года можно рассматривать:

- Замещение ископаемого топлива древесным топливом на старых котельных вблизи ресурсов биомассы.
- Установку котлоагрегатов малой мощности на предприятиях деревообработки.
- Постепенное развитие инфраструктуры заготовок и поставок топлива из биомассы.
- Замещение ископаемого топлива на устаревших котлоагрегатах энергоблоков.
- Новые котлоагрегаты большой мощности на биотопливе.

Замещение ископаемого топлива на ряде действующих энергоблоков древесным топливом это наиболее эффективная стратегия, которая может быть реализована в ближайшее десятилетие. Такой подход обеспечит ряд преимуществ:

- экономию импортируемого топлива за счет использования более дешевого местного топлива;
- расширение сроков эксплуатации блока за счет замены устаревшего оборудования;
- повышение эффективности преобразования топлива за счет внедрения современных конструкций котлоагрегатов;
- большую привлекательность для инвестиций за счет короткого времени окупаемости и высокой рентабельности.

Экономические оценки различных вариантов полного или частичного замещения ископаемого топлива на выбранных энергоблоках показали, что они могут быть обеспечены древесными отходами и затраты на их реконструкцию будут экономически эффективными. В зависимости от схемы замещения капитальные затраты составят от 0,2 до 1,5 млн. долларов на 1 МВт, а внутренняя норма рентабельности составит около 50 % при сроках окупаемости до 5 лет. Предлагаемые технологии замещения являются апробированными, надежными и их компоненты могут производиться в странах СНГ. Общая мощность вводи-

мых объектов в рамках ближайшей программы развития биоэнергетики может экономить ежегодно до 380 тыс. т у. т. ископаемого топлива.

На биотопливе может быть обеспечена работа значительного количества котельных малой и средней мощности, нескольких электрогенерирующих блоков. Суммарный вклад биотоплива в баланс ТЭР в 2020 году может составить 3,5 – 4,5 млн. т у. т./год или от 8 % (реальный сценарий) до 12 % (благоприятный сценарий) развития данного топливного направления. Наличие небольшого, но независимого от внешних поставок источника ТЭР повышает устойчивость энергосистемы и энергетическую безопасность страны.

4.2.5 Основные направления исследований

В качестве основных направлений научно-исследовательских и поисковых работ для развития биоэнергетики в Республике Беларусь можно рассматривать:

- получение новых сведений о ресурсах биотоплива и его характеристиках;
- разработка концепции и оптимизация схемы поставок биотоплива;
- изучение процессов и создание основ технологий подготовки, переработки и конверсии биотоплива в энергетическую продукцию;
- изучение сопутствующих экологических проблем, в том числе загрязнение окружающего пространства золовыми отходами и вредными газовыми выбросами (оксидами серы, азота и др.), с поиском и обоснованием эффективных контрмер;
- создание методологической и информационной основы для развертывания прикладных НИОКР по разработке опытных образцов оборудования с последующим тиражированием оборудования и расширением масштабов использования местных видов топлива;
- разработка и обоснование технологии использования низкокалорийных высоко влажных местных видов топлива и отходов в совместном сжигании с традиционными видами топлива для производства тепла и электроэнергии;
- оценка экономически целесообразного потенциала биоресурсов для производства энергии по комбинированной и отдельной схемах;
- разработка системы оптимального сжигания биотоплива для котлов низкого, среднего и высокого давления.

4.2.6 Производство биотоплива на основе посадок быстрорастущих древесных пород

Одним из перспективных направлений производства биотоплива признаны короткоцикловые плантационные посадки быстрорастущих пород ивы, для которых среднегодовой прирост биомассы превышает 25 м³/га. Серьезное внимание использованию плантационных посадок древесных пород с коротким циклом ротации уделяется в США, где таких плантаций насчитывается около 23 тысяч. Они дают до 20 т/га сухого вещества в год, часть его используется для целлюлозно-бумажной промышленности, часть для биоэнергетики. Канадские специалисты считают, что многоцелевые древесные плантации могут стать неиссякаемым источником энергетической биомассы. Вопрос ставится даже так, что существующая в настоящее время система сельскохозяйственного землепользования может быть существенно улучшена путем введения древесных плантаций для энергетических целей с коротким циклом ротации. В западной Европе общая площадь таких посадок превышает 1 млн. га. Имеется специальное постановление Европейского экономического сообщества № 797/85 о выращивании быстрорастущих древесных пород для использования в промышленности и биоэнергетике (Carona Piermarìo, 1993).

В странах СНГ выращивание быстрорастущих пород и кустарников в основном рекомендуется в качестве источника технического сырья для переработки. В России быстрорастущим породам уделяется весьма большое внимание. Их рассматривают в качестве резерва повышения продуктивности лесов, увеличения запасов древесины и сокращения сроков ее выращивания. Защитные и озеленительные насаждения, созданные из быстрорастущих пород, достигают необходимых размеров за более короткий срок и выполняют свою служебную роль в сравнительно молодом возрасте. На Украине, где в последнее время в связи с распадом СССР ощущается резкий недостаток древесины в промышленности, лесоводы намечают плантационные посадки быстрорастущих тополей.

Ранее в Беларуси специалисты по выращиванию быстрорастущих насаждений древесных и кустарниковых пород уделяли большое внимание проблеме, связанной с увеличением запасов деловой древесины, а также древесины для целлюлозно-бумажной промышленности и для получения технического сырья. Несмотря на то, что в Беларуси произрастают около 20 видов ивы, возделывание культурных плантаций высокопродуктивных пород для целей производства биотоплива не проводилось.

Короткоцикловые посадки (КЦП) представляют собой способ выращивания быстрорастущих древесных пород с относительно короткой продолжительностью роста. На плантации ростки регенерируются от черенков после удаления основных стволов. Периодичность сбора урожая определяется способом дальнейшего использования древесины (в основном для топливных целей, а также для производства бумаги, прутьев и т. п.). В короткоцикловых рощах можно выращивать различные быстрорастущие породы. Чаще всего практикуется посадка ивы и тополя. Практикуется значительная плотность посадки – от 10 до 20 тысяч растений на гектар. Полный срок использования плантации обычно достигает 25 лет, после чего выход биомассы заметно уменьшается. Продолжительность роста ивы до очередного сбора урожая составляет от 2 до 5 лет. Средняя урожайность во втором и последующих циклах выше, поскольку их вегетация начинается с уже укоренившихся в предшествующих циклах саженцев.

Земли, которые бы соответствовали необходимым требованиям к условиям закладки и культивации посадок ивы с проектной продуктивностью следует искать среди нарушенных или обработанных сельхозугодий, где продолжение культивации злаковых и овощных культур становится невыгодным. В этом плане КЦП могут встретить конкуренцию с другими техническими культурами, что потребует в дальнейшем подробный экономический анализ в каждом конкретном случае. Однако для КЦП могут быть также приемлемы земли, где такие посадки не только будут давать конечный продукт в виде топлива, но и выполнять защитные функции. В странах Западной Европы и Америки уже в настоящее время используются посадки ивы быстрорастущей вдоль дорог, имеющие двухцелевое назначение: защита дорог и источник топливно-энергетических ресурсов, что также весьма актуально для Беларуси. КЦП могут играть роль буферной зоны в проблеме защиты воды от загрязнения удобрениями, пестицидами, углеводородами и т. п. КЦП может уменьшать водную эрозию почвы – их плотная корневая система улучшает фильтрующую способность почвы. КЦП, наконец, может выполнять функцию лесозащитной полосы для пропашных культур и т. п. Однако при выборе мест размещения посадок ивы необходимо в первую очередь обращать внимание на тип почвы и ее водный режим.

Актуальность проведения работ в обоснование развития этой отрасли биоэнергетики, особенно в сельских районах, не вызывают сомнений. Посадки высокопродуктивных быстрорастущих кустарниковых и травянистых энерго-растений дают возможность сельскому производителю работать в условиях автономного тепло-, энергоснабжения и независимости от централизованных поставок топлива, что, в свою очередь, позволит снизить издержки производства основных видов продукции, утилизировать земли, выведенные из оборота

или малопродуктивные, решить некоторые социальные и коммунальные вопросы на местном уровне. Уже сейчас целый ряд хозяйств Брестской, Гродненской и Минской областей проявляют интерес к этому виду топлива.

Расчет себестоимости топлива из биомассы быстрорастущих пород ивы показывает, что, с учетом ожидаемой урожайности (не менее 15 тонн воздушно-сухой биомассы с гектара в год) и дисконтирования затрат на закладку и раскорчевку плантации на весь срок ее эксплуатации (25 лет), себестоимость топлива не превысит 25 долл./т у. т.

Исследования и разработка технологии производства энергоресурсов на основе топлива из биомассы быстрорастущих пород ивы в Беларуси ведутся с 2001 г. в Объединенном институте энергетических и ядерных исследований – Сосны НАНБ. Целью проекта является научное и практическое обоснование производства биомассы путем выращивания быстрорастущих «энергетических» посадок ивы в республике и использование в качестве топлива котлоагрегатов малой и средней мощности.

За период 2001 – 2003 гг. выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, в том числе:

- разработан технологический регламент выращивания быстрорастущих пород ивы в условиях Беларуси как источника возобновляемых биоэнергетических ресурсов, включающий необходимую технику, механизмы для механизации посадок, ухода за ними и сбора биомассы;
- на имеющихся плантациях проводился контроль параметров роста, почвенно-климатических условий, потребления компонентов питания, урожайности и прироста биомассы;
- изучен элементный состав и технические характеристики топлива из биомассы – влажность, зольность и calorические свойства топлива, определен CHN-состав, летучие, концентрация K, Mg, Ca, Cl, S, Zn, тяжелых металлов, элементный состав золы;
- проведены демонстрационные испытания топлива и исследованы процессы его сжигания на 2-х промышленных котлоагрегатах мощностью 700 и 25 кВт с измерением мощности и эффективности при стабильных режимах горения;
- полученные материалы обеспечили разработку и выпуск технических условий на топливо;
- выполнены экологические оценки выбросов;
- проведен анализ доступных площадей для полномасштабного промышленного освоения разработанной технологии с учетом почвенно-климатических особенностей Беларуси и оценен потенциал биомассы.

Анализ параметров роста посадок, выполненных по теме задания, позволяют сделать основной вывод, что в условиях Беларуси может быть обеспечена высокая продуктивность плантаций быстрорастущих сортов ивы. За неполный (1/3) цикл ротации годовой прирост биомассы достигал 9 т/га, что соответствует расчетному. При этом саженцы ивы показали высокую устойчивость к изменениям условий внешней среды и жизнестойкость корневой системы: максимальная высота растений за первый год после подрезки составила 3,14 м при средней длине однолетних побегов 1,8 м.

Исследования топлива на основе биомассы ивы показали, что calorические свойства, реактивность и другие энерготехнологические показатели соответствуют данным параметрам для других топлив на основе древесины.

Проведены демонстрационные испытания процессов сжигания выработанного топлива на экспериментальной установке, а также на промышленных водогрейных котлах с кучевой топкой мощностью 0,7 МВт (с подвижной решеткой) и 25 кВт (с неподвижной решеткой). Испытания показали наличие устойчивого горения топлива в широком диапазоне влажности (16 – 40 %); механический недожог не превышал 2 %, зола не имела заметной тенденции к спеканию, экологические параметры находились в пределах установленных нормативов. На основании исследований подготовлены материалы и выпущены технические условия на топливо из биомассы быстрорастущих пород ивы.

На основе полученных результатов даны рекомендации по необходимой технике для механизации работ, разработан технологический регламент для выполнения работ по закладке плантаций, уходу за посадками и сбору биомассы на топливо.

Показано, что для средних метеорологических и климатических условий, характерных для Беларуси, можно ожидать, что продуктивность указанных пород составит около 8 т у. т. с гектара в год. С учетом результатов анализа доступных площадей располагаемый топливный потенциал от этого вида возобновляемый импортозамещающих ресурсов может составить до 10 млн. т у. т. в год, что может покрыть до 10 % потребности в ТЭР.

Для развития и распространения в Беларуси производства и использования биомассы быстрорастущей ивы для получения тепловой энергии необходимо в дальнейшем выполнить следующие мероприятия:

- создать в каждом административном регионе плантации быстрорастущей ивы для обеспечения посадочным материалом последующих «энергетических посадок» и обеспечения селекционных работ по быстрорастущим культурам;

- продолжить изучение эффективного сжигания полученной биомассы на котлоагрегатах различного типа в комбинациях с другими местными видами топлива;
- изучить возможность использования быстрорастущих пород для очистки почвы от тяжелых металлов, радионуклидов и других загрязнителей;
- продолжить изучение баланса минеральных компонентов питания и водного режима для оценки влияния посадок на бонитет почвы.

4.2.7 Производство биотоплива на основе посадок быстрорастущих травянистых культур

Наряду с древесными отходами во всем мире и особенно в энергодефицитных странах и регионах с напряженным экологическим балансом разрабатываются проекты и проводятся эксперименты по выращиванию быстрорастущих культур, биомасса которых могла бы использоваться для производства экологически чистого биотоплива. Одним из источников получения растительного сырья для производства биотоплива в условиях Беларуси может быть выращивание быстрорастущих травянистых культур семейства гречишных, обладающих следующими достоинствами:

- высокой продолжительностью жизни одного растения (до 15 и более лет), что значительно снижает затраты и трудоемкость производства биотоплива;
- высоким выходом биомассы, до 300 т зеленой массы с гектара;
- высокоразвитой корневой системой;
- зимостойкостью;
- высокой технологичностью всех операций от посева до производства биотоплива, что позволит механизировать работы на базе отечественных видов техники;
- способностью к извлечению из почвы радионуклидов, что особенно важно для освоения загрязненных и выведенных из оборота в результате аварии на ЧАЭС территорий Гомельской и Могилевской областей.

В процессе исследований, проведенных ИРЭП НАНБ в 2000 году, получены данные о возможности использования для целей производства биотоплива быстрорастущих травянистых культур семейства гречишных: горца сахалинского, горца забайкальского, горца Вейриха и сильфии пронзеннолистной.

Исследования и разработка технологии производства энергоресурсов на основе топлива из биомассы быстрорастущих культур семейства гречишных в Беларуси ведутся с 2001 г. в Объединенном институте энергетических и ядерных исследований – Сосны НАНБ.

Цель проекта – разработка технологии производства энергоресурсов на основе топлива из биомассы быстрорастущих культур семейства гречишных (БКСГ). За период 2001 – 2003 гг. выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, в том числе:

- осуществлен посев гречишных различного вида (горец Вейриха, сильфия пронзеннолистная, горец забайкальский) на общей площади 20 га;
- разработаны технологические регламенты на выращивание фитомассы гречишных и производство на ее основе биотоплива;
- проведена серия экспериментальных исследований по изучению химического состава, теплотворной способности, насыпной массы при различной степени измельчения и других свойств топлива на основе биомассы гречишных;
- проведена серия экспериментальных исследований горения топливных композиций на основе биомассы гречишных в смеси с углем, торфом фрезерным, лигнином и древесными опилками при различной влажности смеси в экспериментальной установке сжигания;
- экспериментально исследованы экологические характеристики уходящих газов установки сжигания при использовании топлива на основе биомассы гречишных;
- выполнена серия экспериментальных исследований по прессованию брикетов из измельченной смеси биомассы гречишных с углем, торфом, лигнином и древесными опилками;
- предложен вариант энерготехнологического комплекса по выращиванию фитомассы гречишных, ее уборке, сушке и производству биотоплива, предназначенного для сжигания в топках энергоустановок;
- дана предварительная оценка технико-экономических показателей производства топлива на основе биомассы гречишных.

ЧАСТЬ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Научно-технический прогресс невозможен без развития энергетики, электрификации. Однако структура мирового энергохозяйства на сегодня сложилась так, что 80 % потребляемой электроэнергии получается при сжигании топлива на электростанциях, где химическая энергия органического топлива превращается сначала в тепло, теплота – в работу, а работа – в электричество. Ощутимый процент дает и гидроэнергетика (около 15 %), остальное покрывается другими источниками, в основном атомными электростанциями.

При этом потребности в электроэнергии увеличиваются с каждым годом. Вместе с тем запасы традиционных природных топлив (нефти, угля, газа и др.) конечны. Конечны также и запасы ядерного топлива – урана и тория, из которого можно получать в реакторах-размножителях плутоний. Поэтому важно на сегодняшний день найти выгодные источники энергии, причем выгодные не только с точки зрения дешевизны топлива, но и с точки зрения простоты конструкций, эксплуатации, дешевизны материалов, необходимых для постройки станции, долговечности станций.

4.3. Ветровая энергия



Огромна энергия движущихся воздушных масс. Запасы энергии ветра более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты. Постоянно и повсюду на земле дуют ветры. Ветры, дующие на просторах нашей страны, могли бы легко удовлетворить все ее потребности в электроэнергии! Почему же столь обильный, доступный и экологически чистый источник энергии так

слабо используется? В наши дни двигатели, использующие ветер, покрывают всего одну тысячную мировых потребностей в энергии.

По оценкам различных авторов, общий ветроэнергетический потенциал Земли равен 1200 ГВт, однако возможности использования этого вида энергии в различных районах Земли неодинаковы. Среднегодовая скорость ветра на высоте 20 – 30 м над поверхностью Земли должна быть достаточно большой, чтобы мощность воздушного потока, проходящего через, надлежащим образом ориентированное, вертикальное сечение, достигала значения, приемлемого для преобразования. Ветроэнергетическая установка, расположенная на площадке, где среднегодовая удельная мощность воздушного потока составляет около 500 Вт/м^2 (скорость воздушного потока при этом равна 7 м/с), может преобразовать в электроэнергию около 175 из этих 500 Вт/м^2 .

Энергия, содержащаяся в потоке движущегося воздуха, пропорциональна кубу скорости ветра:

$$E(fV) = kV^3 \text{ Вт/м}^2, \quad (4.1)$$

где: k – коэффициент пропорциональности.

Однако не вся энергия воздушного потока может быть использована даже с помощью идеального устройства. Теоретически, коэффициент полезного использования (КПИ) энергии воздушного потока может быть равен 59,3 %.

На практике, согласно опубликованным данным, максимальный КПИ энергии ветра в реальном ветроагрегате равен, приблизительно, 50 %. Однако, и этот показатель достигается не при всех скоростях, а только при оптимальной скорости, предусмотренной проектом. Кроме того, часть энергии воздушного потока теряется при преобразовании механической энергии в электрическую, которое осуществляется с КПД, обычно, 75 – 95 %.

Учитывая все эти факторы, удельная электрическая мощность, выдаваемая реальным ветроэнергетическим агрегатом, видимо, составляет 30 – 40 % мощности воздушного потока при условии, что этот агрегат работает устойчиво в диапазоне скоростей, предусмотренных проектом. Однако иногда ветер имеет скорость, выходящую за пределы расчетных скоростей. Скорость ветра бывает настолько низкой, что ветроэнергетический агрегат совсем не может работать, или настолько высокой, что установку необходимо остановить и принять меры по ее защите от разрушения. Если скорость ветра превышает номинальную рабочую скорость, часть извлекаемой механической энергии ветра не используется, с тем чтобы не превышать номинальной электрической мощности генератора.

Учитывая эти факторы, удельная выработка электрической энергии в течение года, видимо, составляет 15 – 30 % энергии ветра, или даже меньше, в зависимости от местоположения и параметров ветроэнергетического агрегата.

Новейшие исследования направлены преимущественно на получение электрической энергии из энергии ветра. Стремление освоить производство ветроэнергетических машин привело к появлению множества таких агрегатов. Некоторые из них достигают десятков метров в высоту, и, как полагают, со временем могли бы образовать настоящую электрическую сеть. Малые ветроэлектрические агрегаты, мощностью 200 – 500 Вт, предназначены для снабжения электроэнергией отдельных домов.

Сооружаются ветряные электрические станции преимущественно постоянного тока (рис. 4.2). Ветряное колесо приводит в движение динамомашину – генератор электрического тока, который одновременно заряжает параллельно соединенные аккумуляторы. Аккумуляторная батарея автома-

тически подключается к генератору в тот момент, когда напряжение на его выходных клеммах становится больше, чем на клеммах батареи, и также автоматически отключается при противоположном соотношении.

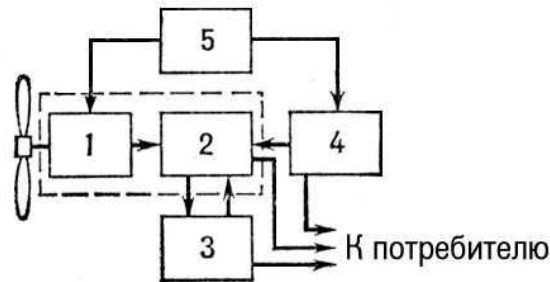


Рис. 4.2. Принципиальная схема ветряной электрической станции:
1 – генератор электрического тока; 2, 3, 4 – аккумуляторные батареи;
5 – контрольно-измерительное устройство

В небольших масштабах ветроэлектрические станции нашли применение несколько десятилетий назад. Самая крупная из них мощностью 1250 кВт давала ток в сеть электроснабжения американского штата Вермонт непрерывно с 1941 по 1945 гг. Однако после поломки ротора опыт прервался – ротор не стали ремонтировать, поскольку энергия от соседней тепловой электростанции обходилась дешевле. По экономическим причинам прекратилась эксплуатация ветроэлектрических станций и в европейских странах.

Сегодня ветроэлектрические агрегаты надежно снабжают током нефтяников; они успешно работают в труднодоступных районах, на дальних островах, в Арктике, на тысячах сельскохозяйственных ферм, где нет поблизости крупных населенных пунктов и электростанций общего пользования. Американец Генри Клюз в штате Мэн построил две мачты и укрепил на них ветродвигатели с генераторами, 20 аккумуляторов по 6 В и 60 аккумуляторов по 2 В служат ему в безветренную погоду, а в качестве резерва он имеет бензиновый движок.

За месяц Клюз получает от своих ветроэлектрических агрегатов 250 кВт·ч энергии; этого ему хватает для освещения всего хозяйства, питания бытовой аппаратуры (телевизора, проигрывателя, пылесоса, электрической пищащей машинки), а также для водяного насоса и хорошо оборудованной мастерской.

Широкому применению ветроэлектрических агрегатов в обычных условиях пока препятствует их высокая себестоимость. Вряд ли требуется говорить, что за ветер платить не нужно, однако машины, нужные для того, чтобы запрячь его в работу, обходятся слишком дорого. Сейчас созданы самые разнообразные прототипы **ветроэлектрических генераторов** (точнее, ветродвигателей с электрогенераторами). Одни из них похожи на обычную детскую вертушку, другие – на велосипедное колесо с



алюминиевыми лопастями вместо спиц. Существуют агрегаты в виде карусели или же в виде мачты с системой подвешенных друг над другом круговых ветроуловителей, с горизонтальной или вертикальной осью вращения, двумя или пятьюдесятью лопастями. В проектировании установки самая трудная проблема состояла в том, чтобы при разной силе ветра обеспечить одинаковое число оборотов пропеллера. Ведь при подключении к сети генератор должен давать не просто электрическую энергию, а только переменный ток с заданным числом циклов в секунду, т. е. со стандартной частотой 50 Гц. Поэтому угол наклона лопастей по отношению к ветру регулируют за счет поворота их вокруг продольной оси: при сильном ветре этот угол острее, воздушный поток свободнее обтекает лопасти и отдает им меньшую часть своей энергии. Помимо регулирования лопастей весь генератор автоматически поворачивается на мачте против ветра.

При использовании ветра возникает серьезная проблема: избыток энергии в ветреную погоду и недостаток ее в периоды безветрия. Как же накапливать и сохранить впрок энергию ветра? Простейший способ состоит в том, что ветряное колесо движет насос, который накачивает воду в расположенный выше резервуар, а потом вода, стекая из него, приводит в действие водяную турбину и генератор постоянного или переменного тока.

Существуют другие способы и проекты: от обычных, хотя и маломощных аккумуляторных батарей до раскручивания гигантских маховиков или нагнетания сжатого воздуха в подземные пещеры и вплоть до производства водорода в качестве топлива. Особенно перспективным представляется последний способ. Электрический ток от генератора разлагает воду на кислород и водород. Водород можно хранить в сжиженном виде и сжигать в топках тепловых электростанций по мере надобности.

4.4. Геотермальная энергия

Энергетика земли – геотермальная энергетика – базируется на использовании природной теплоты Земли. Верхняя часть земной коры имеет термический градиент, равный 20 – 30 °С в расчете на 1 км глубины, и, количество теплоты, содержащейся в земной коре до глубины 10 км (без учета температуры поверхности), равно приблизительно $12,6 \cdot 10^{26}$ Дж. Эти ресурсы эквивалентны теплосодержанию $4,6 \cdot 10^{16}$ т угля (принимая среднюю теплоту сгорания угля равной $27,6 \cdot 10^9$ Дж/т), что более чем в 70 тыс. раз

превышает теплосодержание всех технически и экономически извлекаемых мировых ресурсов угля. Однако геотермальная теплота в верхней части земной коры слишком рассеяна, чтобы на ее базе решать мировые энергетические проблемы. Ресурсы, пригодные для промышленного использования, представляют собой отдельные месторождения геотермальной энергии, сконцентрированной на доступной для разработки глубине, имеющие определенные объемы и температуру, достаточные для использования их в целях производства электрической энергии или теплоты.

С геологической точки зрения геотермальные энергоресурсы можно разделить на **гидротермальные конвективные системы, горячие сухие системы вулканического происхождения и системы с высоким тепловым потоком.**

К категории **гидротермальных конвективных систем** относят: подземные бассейны пара или горячей воды, которые выходят на поверхность земли, образуя гейзеры, сернистые грязевые озера. Образование таких систем связано с наличием источника теплоты – горячей или расплавленной скальной породой, расположенной относительно близко к поверхности земли. Гидротермальные конвективные системы обычно размещаются по границам тектонических плит земной коры, которым свойственна вулканическая активность.

В принципе для производства электроэнергии на месторождениях с горячей водой применяется метод, основанный на использовании пара, образовавшегося при испарении горячей жидкости на поверхности. Этот метод использует то явление, что при приближении горячей воды (находящейся под высоким давлением) по скважинам из бассейна к поверхности давление падает, и около 20 % жидкости вскипает и превращается в пар. Этот пар отделяется с помощью сепаратора от воды и направляется в турбину. Вода, выходящая из сепаратора, может быть подвергнута дальнейшей обработке в зависимости от ее минерального состава. Эту воду можно закачивать обратно в скальные породы сразу или, если это экономически оправдано, с предварительным извлечением из нее минералов.

Другим методом производства электроэнергии на базе высоко- или среднетемпературных геотермальных вод является использование процесса с применением двухконтурного (бинарного) цикла. В этом процессе вода, полученная из бассейна, используется для нагрева теплоносителя второго контура (фреона или изобутана), имеющего низкую температуру кипения. Пар, образовавшийся в результате кипения этой жидкости, используется для привода турбины. Отработавший пар конденсируется и вновь пропускается через теплообменник, создавая тем самым замкнутый цикл.

Ко второму типу геотермальных ресурсов (горячие системы вулканического происхождения) относятся магма и непроницаемые горячие сухие породы (зоны застывшей породы вокруг магмы и покрывающие ее скальные породы). Получение геотермальной энергии непосредственно из магмы пока технически неосуществимо. Технология, необходимая для использования энергии горячих сухих пород, только начинает разрабатываться. Предварительные технические разработки методов использования этих энергетических ресурсов предусматривают устройство замкнутого контура с циркулирующей по нему жидкостью, проходящего через горячую породу. Сначала пробуривают скважину, достигающую области залегания горячей породы; затем через нее в породу под большим давлением закачивают холодную воду, что приводит к образованию в ней трещин. После этого через образованную таким образом зону трещиноватой породы пробуривают вторую скважину. Наконец, холодную воду с поверхности закачивают в первую скважину. Проходя через горячую породу, она нагревается, извлекается через вторую скважину в виде пара или горячей воды, которые затем можно использовать для производства электроэнергии одним из рассмотренных ранее способов.

Геотермальные системы третьего типа существуют в тех районах, где в зоне с высокими значениями теплового потока располагается глубоководный осадочный бассейн. В таких районах, как Парижский или Венгерский бассейны, температура воды, поступающая из скважин, может достигать 100 °С.

После энергетического кризиса 70-х годов исследование и освоение геотермальных ресурсов получило дополнительный импульс. В развитых странах геотермальные исследования проводились на постоянной основе. Так, например, в США была принята 10 летняя программа по изучению объектов, которые в какой-либо степени могут быть источником подземного тепла. В сферу внимания вовлекались все поверхностные термопроявления как действующие в настоящее время, так и в недалеком прошлом (четвертичный период), вулканы, зоны андезитового вулканизма, зоны поверхностного гидротермального изменения пород на вулканах и сопряженных с ними структурах, термоаномалии в недрах потухших вулканов и нефтегазовых месторождений. Недорогими гидрохимическими, минералогическими и геофизическими методами определялись термоаномалии и бурились параметрические геотермальные скважины, глубиной до 1 км. Буквально во всех штатах каждое термопроявление было инвентаризировано и были составлены каталоги с подробной гидродинамической, гео-

термической информацией. В Японии были проанализированы гравиметрические и аэромагнитные аномалии, была идентифицирована поверхность, описываемая температурой Кюри (температура нулевой намагниченности нагретых горных пород).

4.5. Тепловая энергия океана

Известно, что запасы энергии в Мировом океане колоссальны, ведь две трети земной поверхности (361 млн. км²) занимают моря и океаны – акватория Тихого океана составляет 180 млн. км², Атлантического – 93 млн. км², Индийского – 75 млн. км². Так, тепловая (внутренняя) энергия, соответствующая перегреву поверхностных вод океана по сравнению с донными, скажем, на 20 градусов, имеет величину порядка 10²⁶ Дж. Кинетическая энергия океанских течений оценивается величиной порядка 10¹⁸ Дж. Однако пока что люди умеют использовать лишь ничтожные доли этой энергии, да и то ценой больших и медленно окупающихся капиталовложений, так что такая энергетика до сих пор казалась малоперспективной.

Последние десятилетие характеризуется определенными успехами в области использования тепловой энергии океана. Так, созданы установки мини-ОТЕС и ОТЕС-1 (ОТЕС – начальные буквы английских слов Ocean Thermal Energy Conversion, т. е. преобразование тепловой энергии океана – речь идет о преобразовании в электрическую энергию). В августе 1979 г. вблизи Гавайских островов начала работать теплоэнергетическая установка мини-ОТЕС. Пробная эксплуатация установки в течение трех с половиной месяцев показала ее достаточную надежность. При непрерывной круглосуточной работе не было срывов, если не считать мелких технических неполадок, обычно возникающих при испытаниях любых новых установок. Ее полная мощность составляла в среднем 48,7 кВт, максимальная – 53 кВт; 12 кВт (максимум 15) установка отдавала во внешнюю сеть на полезную нагрузку, точнее – на зарядку аккумуляторов. Остальная вырабатываемая мощность расходовалась на собственные нужды установки. В их число входят затраты энергии на работу трех насосов, потери в двух теплообменниках, турбине и генераторе электрической энергии.

Три насоса потребовались из следующего расчета: один – для подачи теплой воды из океана, второй – для подкачки холодной воды с глубины около 700 м, третий – для перекачки вторичной рабочей жидкости внутри самой системы, т. е. из конденсатора в испаритель. В качестве вторичной рабочей жидкости применяется аммиак.

Установка мини-ОТЕС смонтирована на барже. Под ее днищем помещен длинный трубопровод для забора холодной воды. Трубопроводом служит полиэтиленовая труба длиной 700 м с внутренним диаметром 50 см. Трубопровод прикреплен к днищу судна с помощью особого затвора, позволяющего в случае необходимости его быстрое отсоединение. Полиэтиленовая труба одновременно используется и для якоривания системы труба – судно. Оригинальность подобного решения не вызывает сомнений, поскольку якорные постановки для разрабатываемых ныне более мощных систем ОТЕС являются весьма серьезной проблемой.

Впервые в истории техники установка мини-ОТЕС смогла отдать во внешнюю нагрузку полезную мощность, одновременно покрыв и собственные нужды. Опыт, полученный при эксплуатации мини-ОТЕС, позволил быстро построить более мощную теплоэнергетическую установку ОТЕС-1 и приступить к проектированию еще более мощных систем подобного типа.

Новые станции ОТЕС на мощность во много десятков и сотен мегаватт проектируются без судна. Это – одна грандиозная труба, в верхней части которой находится круглый машинный зал, где размещены все необходимые устройства для преобразования энергии.

4.6. Энергия приливов и отливов

Веками люди размышляли над причиной морских приливов и отливов. Сегодня мы достоверно знаем, что могучее природное явление – ритмичное движение морских вод вызывают силы притяжения Луны и Солнца. Поскольку Солнце находится от Земли в 400 раз дальше, гораздо меньшая масса Луны действует на земные воды вдвое сильнее, чем масса Солнца. Поэтому решающую роль играет прилив, вызванный Луной (лунный прилив). В морских просторах приливы чередуются с отливами теоретически через 6 ч 12 мин 30 с. Если Луна, Солнце и Земля находятся на одной прямой, Солнце своим притяжением усиливает воздействие Луны, и тогда наступает сильный прилив. Когда же Солнце стоит под прямым углом к отрезку Земля – Луна (квадратура), наступает слабый прилив (квадратурный, или малая вода). Сильный и слабый приливы чередуются через семь дней.

Однако истинный ход прилива и отлива весьма сложен. На него влияют особенности движения небесных тел, характер береговой линии, глубина воды, морские течения и ветер.

Самые высокие и сильные приливные волны возникают в мелких и узких заливах или устьях рек, впадающих в моря и океаны. Приливная

волна Индийского океана катится против течения Ганга на расстояние 250 км от его устья. Приливная волна Атлантического океана распространяется на 900 км вверх по Амазонке. В закрытых морях, например Черном или Средиземном, возникают малые приливные волны высотой 50 – 70 см.

Максимально возможная мощность в одном цикле прилив – отлив, т. е. от одного прилива до другого, выражается уравнением:

$$W = \rho g S R^2, \quad (4.2)$$

где: ρ – плотность воды;

g – ускорение силы тяжести;

S – площадь приливного бассейна;

R – разность уровней при приливе.

Как видно из формулы, для использования приливной энергии наиболее подходящими можно считать такие места на морском побережье, где приливы имеют большую амплитуду, а контур и рельеф берега позволяют устроить большие замкнутые «бассейны». Мощность электростанций в некоторых местах могла бы составить 2 – 20 МВт.

Первая морская приливная электростанция мощностью 635 кВт была построена в 1913 г. в бухте Ди около Ливерпуля. В 1935 г. приливную электростанцию начали строить в США. Американцы перегородили часть залива Пассамак на восточном побережье, истратили, 7 млн. долл., но работы пришлось прекратить из-за неудобного для строительства, слишком глубокого и мягкого морского дна, а также из-за того, что построенная неподалеку крупная тепловая электростанция дала более дешевую энергию.

Аргентинские специалисты предлагали использовать очень высокую приливную волну в Магеллановом проливе, но правительство не утвердило дорогостоящий проект.

4.7. Энергия морских течений

Неисчерпаемые запасы кинетической энергии морских течений, накопленные в океанах и морях, можно превращать в механическую и электрическую энергию с помощью турбин, погруженных в воду (подобно ветряным мельницам, «погруженным» в атмосферу).

Важнейшее и самое известное морское течение – Гольфстрим. Его основная часть проходит через Флоридский пролив между полуостровом Флорида и Багамскими островами. Ширина течения составляет 60 км, глу-

бина до 800 м, а поперечное сечение 28 км². Энергию P , которую несет такой поток воды со скоростью 0,9 м/с, можно выразить формулой (в ваттах):

$$P = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3, \quad (4.3)$$

где: m – масса воды (кг);

ρ – плотность воды (кг/м³);

A – сечение (м²);

v – скорость (м/с).

Подставив цифры, получим:

$$P = \frac{1}{2} 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 28 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot 1,53 \text{ м/с}^3 = 50000 \text{ МВт.}$$

Если бы мы смогли полностью использовать эту энергию, она была бы эквивалентна суммарной энергии от 50 крупных электростанций по 1000 МВт. Но эта цифра чисто теоретическая, а практически можно рассчитывать на использование лишь около 10 % энергии течения.

В настоящее время в ряде стран, и в первую очередь в Англии, ведутся интенсивные работы по использованию энергии морских волн. Британские острова имеют очень длинную береговую линию, во многих местах море остается бурным в течение длительного времени. По оценкам ученых, за счет энергии морских волн в английских территориальных водах можно было бы получить мощность до 120 ГВт, что вдвое превышает мощность всех электростанций, принадлежащих Британскому Центральному электроэнергетическому управлению.

Один из проектов использования морских волн основан на принципе колеблющегося водяного столба. В гигантских «коробах» без дна и с отверстиями сверху под влиянием волн уровень воды то поднимается, то опускается. Столб воды в коробе действует наподобие поршня: засасывает воздух и нагнетает его в лопатки турбин. Главную трудность здесь составляет согласование инерции рабочих колес турбин с количеством воздуха в коробах, так чтобы за счет инерции сохранялась постоянная скорость вращения турбинных валов в широком диапазоне условий на поверхности моря.

4.8. Энергия солнца

Почти все источники энергии, о которых мы до сих пор говорили, так или иначе, используют энергию Солнца: уголь, нефть, природный газ суть не что иное, как «законсервированная» солнечная энергия. Она заключена в этом топливе с незапамятных времен; под действием солнечно-

го тепла и света на Земле росли растения, накапливали в себе энергию, а потом в результате длительных процессов превратились в употребляемое сегодня топливо. Солнце каждый год дает человечеству миллиарды тонн зерна и древесины. Энергия рек и горных водопадов также происходит от Солнца, которое поддерживает кругооборот воды на Земле.

Во всех приведенных примерах солнечная энергия используется косвенно, через многие промежуточные превращения. Заманчиво было бы исключить эти превращения и найти способ непосредственно преобразовывать тепловое и световое излучение Солнца, падающее на Землю, в механическую или электрическую энергию. Всего за три дня Солнце посылает на Землю столько энергии, сколько ее содержится во всех разведанных запасах ископаемых топлив, а за 1 с – 170 млрд. Дж. Большую часть этой энергии рассеивает или поглощает атмосфера, особенно облака, и только треть ее достигает земной поверхности. Вся энергия, испускаемая Солнцем, больше той ее части, которую получает Земля, в 5 млн. раз. Но даже такая «ничтожная» величина в 1600 раз больше энергии, которую дают все остальные источники, вместе взятые. Солнечная энергия, падающая на поверхность одного озера, эквивалентна мощности крупной электростанции.

Согласно легенде Архимед, находясь на берегу, уничтожил неприятельский римский флот под Сиракузами. Как? При помощи зажигательных зеркал. Известно, что подобные зеркала делались также в VI веке. А в середине XVIII столетия французский естествоиспытатель Ж. Бюффон производил опыты с большим вогнутым зеркалом, состоящим из множества маленьких плоских. Они были подвижными и фокусировали в одну точку отраженные солнечные лучи. Этот аппарат был способен в ясный летний день с расстояния 68 м довольно быстро воспламенить пропитанное смолой дерево. Позднее во Франции было изготовлено вогнутое зеркало диаметром 1,3 м, в фокусе которого можно было за 16 секунд расплавить чугунный стержень. В Англии же отшлифовали большое двояковыпуклое стекло, с его помощью удавалось расплавлять чугун за три секунды и гранит – за минуту.

В конце XIX века на Всемирной выставке в Париже изобретатель О. Мушо демонстрировал инсолятор – в сущности, первое устройство, превращавшее солнечную энергию в механическую. Но принцип был тем же: большое вогнутое зеркало фокусировало солнечные лучи на паровом котле, который приводил в движение печатную машину, делавшую по 500 оттисков газеты в час. Через несколько лет в Калифорнии построили действующий по такому же принципу конический рефлектор в паре с паровой машиной мощностью 15 л. с.

И хотя с той поры то в одной, то в другой стране появляются экспериментальные рефлекторы-нагреватели, а в публикуемых статьях все громче напоминают о неиссякаемости нашего светила, рентабельнее они от этого не становятся и широкого распространения пока не получают: слишком дорогое удовольствие – это даровое солнечное излучение.

Сегодня для преобразования солнечного излучения в электрическую энергию мы располагаем двумя возможностями: использовать солнечную энергию как источник тепла для выработки электроэнергии традиционными способами (например, с помощью турбогенераторов) или же непосредственно преобразовывать солнечную энергию в электрический ток в солнечных элементах. Реализация обеих возможностей пока находится в зачаточной стадии. В значительно более широких масштабах солнечную энергию используют после ее концентрации при помощи зеркал – для плавления веществ, дистилляции воды, нагрева, отопления и т. д.

Поскольку энергия солнечного излучения распределена по большой площади (иными словами, имеет низкую плотность), любая установка для прямого использования солнечной энергии должна иметь собирающее устройство (коллектор) с достаточной поверхностью.

Простейшее устройство такого рода – плоский коллектор; в принципе это черная плита, хорошо изолированная снизу. Она прикрыта стеклом или пластмассой, которая пропускает свет, но не пропускает инфракрасное тепловое излучение. В пространстве между плитой и стеклом чаще всего размещают черные трубки, через которые текут вода, масло, ртуть, воздух, сернистый ангидрид и т. п. Солнечное излучение, проникая через стекло или пластмассу в коллектор, поглощается черными трубками и плитой и нагревает рабочее вещество в трубках. Тепловое излучение не может выйти из коллектора, поэтому температура в нем значительно выше (200 – 500 °С), чем температура окружающего воздуха. В этом проявляется так называемый парниковый эффект. Обычные садовые парники, по сути дела, представляют собой простые коллекторы солнечного излучения. Но чем дальше от тропиков, тем менее эффективен горизонтальный коллектор, а поворачивать его вслед за Солнцем слишком трудно и дорого. Поэтому такие коллекторы, как правило, устанавливают под определенным оптимальным углом к югу.

Более сложным и дорогостоящим коллектором является вогнутое зеркало, которое сосредоточивает падающее излучение в малом объеме около определенной геометрической точки – фокуса. Отражающая поверхность зеркала выполнена из металлизированной пластмассы либо составлена из многих малых плоских зеркал, прикрепленных к большому па-

рабочему основанию. Благодаря специальным механизмам коллекторы такого типа постоянно повернуты к Солнцу – это позволяет собирать возможно большее количество солнечного излучения. Температура в рабочем пространстве зеркальных коллекторов достигает 3000 °С и выше.

Солнечная энергетика относится к наиболее материалоемким видам производства энергии. Крупномасштабное использование солнечной энергии влечет за собой гигантское увеличение потребности в материалах, следовательно, и в трудовых ресурсах для добычи сырья, его обогащения, получения материалов, изготовление гелиостатов, коллекторов, другой аппаратуры, их перевозки. Подсчеты показывают, что для производства 1 МВт в год электрической энергии с помощью солнечной энергетике потребуется затратить от 10 000 до 40 000 человеко-часов. В традиционной энергетике на органическом топливе этот показатель составляет 200 – 500 человеко-часов.

Пока еще электрическая энергия, рожденная солнечными лучами, обходится намного дороже, чем получаемая традиционными способами. Ученые надеются, что эксперименты, которые они проведут на опытных установках и станциях, помогут решить не только технические, но и экономические проблемы. Но, тем не менее, станции-преобразователи солнечной энергии строят, и они работают.

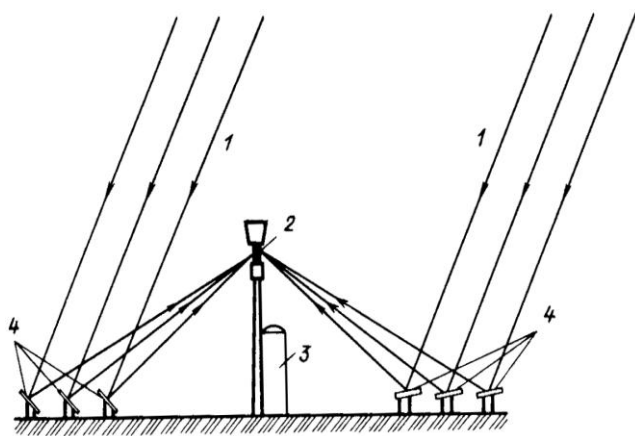


Рис. 4.3. Схема работы Крымской экспериментальной солнечной электростанции мощностью 5000 кВт: 1 – солнечные лучи; 2 – парогенератор-гелиоприемник; 3 – пароводяной аккумулятор энергии вместимостью 500 м; 4 – гелиостаты с площадью зеркал 25 м² (общее их число 1000 штук).

С 1988 года на Керченском полуострове работает Крымская солнечная электростанция (Рис. 4.3). Кажется, самым здравым смыслом определено ее место. Уж если где и строить такие станции, так это в первую очередь в краю курортов, санаториев, домов отдыха, туристских маршрутов; в краю, где надо много энергии, но еще важнее сохранить в чистоте окружающую среду, само благополучие которой, и, прежде всего, чистота воздуха, целебно для человека.

Крымская СЭС невелика – мощность всего 5 МВт. В определенном смысле она – проба сил. Хотя, казалось бы, чего еще надо пробовать, когда известен опыт строительства гелиостанций в других странах.

На острове Сицилия еще в начале 80-х годов дала ток солнечная электростанция мощностью 1 МВт. Принцип ее работы тоже башенный. Зеркала фокусируют солнечные лучи на приемнике, расположенном на 50-метровой высоте. Там вырабатывается пар с температурой более 600 °С, который приводит в действие традиционную турбину с подключенным к ней генератором тока. Неоспоримо доказано, что на таком принципе могут работать электростанции мощностью 10 – 20 МВт, а также и гораздо больше, если группировать подобные модули, подсоединяя их друг к другу.

Несколько иного типа электростанция в Алькерии на юге Испании. Ее отличие в том, что сфокусированное на вершину башни солнечное тепло приводит в движение натриевый круговорот, а тот уже нагревает воду до образования пара. У такого варианта ряд преимуществ. Натриевый аккумулятор тепла обеспечивает не только непрерывную работу электростанции, но дает возможность частично накапливать избыточную энергию для работы в пасмурную погоду и ночью. Мощность испанской станции имеет всего 0,5 МВт, но на ее принципе могут быть созданы куда более крупные – до 300 МВт. В установках этого типа концентрация солнечной энергии настолько высока, что КПД паротурбинного процесса здесь ничуть не хуже, чем на традиционных тепловых электростанциях.

4.8.1 Преобразование солнечной энергии с использованием фотоэлектрического эффекта в полупроводниках

По мнению специалистов, наиболее привлекательной идеей относительно преобразования солнечной энергии является использование фотоэлектрического эффекта в полупроводниках.

Но, для примера, электростанция на солнечных батареях вблизи экватора с суточной выработкой 500 МВт·ч (примерно столько энергии вырабатывает довольно крупная ГЭС) при КПД 10 % потребовала бы эффективной поверхности около 500000 м². Ясно, что такое огромное количество солнечных полупроводниковых элементов может окупиться только тогда, когда их производство будет действительно дешево. Эффективность солнечных электростанций в других зонах Земли была бы мала из-за неустойчивых атмосферных условий, относительно слабой интенсивности солнечной радиации, которую здесь даже в солнечные дни сильнее поглощает атмосфера, а также колебаний, обусловленных чередованием дня и ночи.



Тем не менее, солнечные фотоэлементы уже сегодня находят свое специфическое применение. Они оказались практически незаменимыми источниками электрического тока в ракетах, спутниках и автоматических межпланетных станциях, а на Земле – в первую очередь для питания телефонных сетей в неэлектрифицированных районах или же для малых потребителей тока (радиоаппаратура, электрические бритвы и т. п.). Полупроводниковые солнечные батареи впервые были установлены на третьем советском искусственном спутнике Земли (запущенном на орбиту 15 мая 1958 г.).

Однако сегодня эти сооружения все еще относятся к наиболее сложным и самым дорогостоящим техническим методам использования гелиоэнергии.

4.9. Солнечные элементы – принципы работы

Солнечные элементы (СЭ) изготавливаются из материалов, которые напрямую преобразуют солнечный свет в электричество. Большая часть из коммерчески выпускаемых, в настоящее время, СЭ изготавливается из кремния (рис.4.4). Кремний – полупроводник. Он широко распространен на земле в виде песка, который является диоксидом кремния (SiO_2), также известного под именем «кварцит». Другая область применения кремния – электроника, где кремний используется для производства полупроводниковых приборов и микросхем.

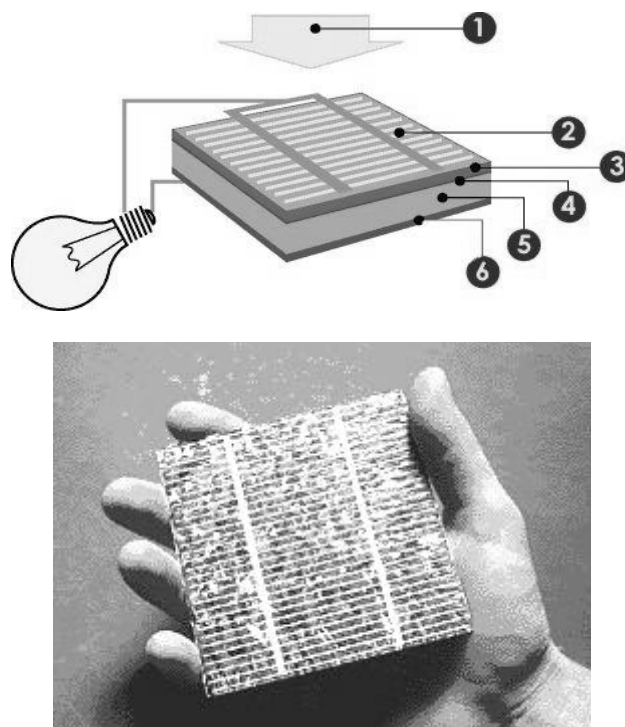


Рис. 4.4. Структура солнечного элемента: 1. – свет (фотоны); 2. – фронтальный контакт; 3. – просветляющий слой; 4. – слой р-п перехода; 5. – слой кремния; 6. – задний контакт. Внешний вид кремниевого солнечного элемента

Типы солнечных элементов

Различают следующие типы СЭ: монокристаллический, поликристаллический и аморфный. Особенность этих форм – организация атомов кремния в кристалле. Различные СЭ имеют разный КПД преобразования энергии света. Моно- и поликристаллические элементы имеют почти одинаковый КПД, который выше, чем у СЭ, изготовленных из аморфного кремния.

Прежде всего, в СЭ имеется задний контакт и 2 слоя кремния разной проводимости. Сверху имеется сетка из металлических контактов и антибликовое просветляющее покрытие, которое дает характерный синий оттенок.

В последние годы разработаны новые типы материалов для СЭ. Например, тонкопленочные СЭ из сплавов CuIn (медь-индий) и CdTe (теллурид кадмия). Эти СЭ в последнее время также коммерчески используются.

КПД солнечных элементов	
монокристаллические:	12 – 15 %
поликристаллические:	11 – 14 %
аморфные:	6 – 7 %
теллурид кадмия:	7 – 8 %

Важнейшей характеристикой СЭ является вольтамперная характеристика (рис. 4.5).

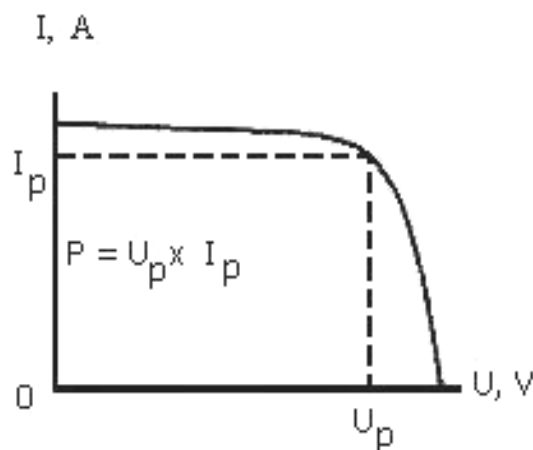


Рис. 4.5. Вольтамперная характеристика солнечного элемента

Пиковый ватт

Солнечный элемент производит электричество под воздействием света. В зависимости от интенсивности света (измеряемой в Вт/м^2), производится больше или меньше электричества: яркий солнечный свет более предпочтителен, чем тень, и тень более предпочтительна, чем электрический свет. Для сравнения СЭ и модулей необходимо знать так называемую номинальную

мощность элемента или модуля. Номинальная мощность, выраженная в **ваттах пиковой мощности (W_p)**. Это мера того, сколько электроэнергии может произвести фотоэлектрический модуль при оптимальных условиях.

Для определения и сравнения номинальной мощности солнечных панелей, выходная мощность измеряется при стандартных тестовых условиях (СТУ). Эти условия предполагают:

- освещенность 1000 Вт/м^2 ;
- солнечный спектр АМ 1,5 (он определяет тип и цвет света);
- температура элемента $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (это важно, так как эффективность СЭ падает при повышении его температуры).

Пример: кристаллический кремниевый СЭ с размерами $10 \times 10 \text{ см}$ имеет пиковую мощность примерно $1,5 W_p$. Большинство панелей с площадью 1 квадратный метр имеют номинальную мощность около $100 \text{ Вт}_{\text{пик}}$ (если они сделаны из кристаллических кремниевых элементов).

Повышение эффективности солнечных батарей

Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана. Показатель меняется в зависимости от географического месторасположения участка: чем ближе к экватору, тем он больше. Например, среднегодовое суммарное солнечное излучение, падающее на горизонтальную поверхность, составляет:

- в Центральной Европе, Средней Азии и Канаде – приблизительно 1000 кВтч/м^2 ;
- в Средиземноморье – приблизительно 1700 кВтч/м^2 ;
- в большинстве пустынных регионов Африки, Ближнего Востока и Австралии – приблизительно 2200 кВтч/м^2 .

В исследовании компании РосБизнесКонсалтинг «Рынок фотовольтаики: солнечные батареи» отмечается, что наиболее распространенные



к настоящему моменту фотоэлементы (на основе поликремния) улавливают до 24 % поступающей солнечной энергии.

В середине мая 2010 г. в России стартовал проект по промышленному производству наногетероструктурных фотопреобразователей с КПД 37 – 45 %, солнечных модулей и энергоустановок нового поколения с линзами Френеля и системой слежения за солн-

цем.

Технологические основы нового производства были разработаны учеными петербургского Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе. Пилотная линия будет организована в Санкт-Петербурге, а завод для опытного и серийного производств будет построен в Ставропольском крае.

Предполагается, что к 2015 году объем выпуска новых установок составит около 85 МВт в год, а выручка проектной компании – более 130 миллионов евро. Ее учредителями станут Роснано, ValeyPearls Holdings LTD, учрежденная частными соинвесторами, и компания «Солнечный поток», учрежденная разработчиками технологии.

Общий объем бюджета проекта на настоящий момент оценивается в 5,7 млрд. руб.

4.9.1 Солнечные электростанции на фотоэлементах

Солнечные электростанции – автономные системы

Автономные солнечные электростанции в основном используются в районах, где источники общего энергоснабжения недоступны или слишком дороги. Также солнечные электростанции хорошо подходят для использования в целях, не требующих больших энергетических затрат.

Автономные солнечные электростанции вырабатывают электричество для питания водяных насосов или для систем вентиляции и охлаждения. Поэтому большинство солнечных электростанций производит постоянный электрический ток.

Удобство солнечных электростанций заключается в их небольшом весе, компактности и простоте установки. Например, солнечные электростанции, производящие до 500 Вт весят менее 68 кг.

Солнечные электростанции – системы с аккумуляторами

Солнечные электростанции с аккумуляторами идеально подходят для производства и хранения электроэнергии в местах с отсутствием энергоснабжения. Способность производить, накапливать и хранить электроэнергию делает такие солнечные электростанции надежным источником энергии в любое время, независимо от погодных условий и времени суток. Солнечные электростанции с аккумуляторами проектируются для снабжения электричеством как постоянного, так и переменного токов. Для получения переменного тока в конструкцию солнечных электростанций необходимо добавить инвертор.

В течение дня, солнечные электростанции заряжают аккумуляторы, а затем накопленная энергия по мере надобности подается на ввод. Контроллер заряда регулирует степень зарядки аккумуляторов и помогает продлить их эксплуатационный срок.

Наличие аккумуляторов расширяет область применения солнечных электростанций, но, в то же время, требует дополнительного технического обслуживания. Аккумуляторы по своему устройству очень похожи на аккумуляторы, используемые в гольф-карах. Аккумуляторы имеют те же требования по эксплуатации и технике безопасности, что и автомобильные.

Солнечные электростанции – солнечные элементы в гибридных электрических системах

В гибридных солнечных электростанциях используется несколько источников получения электроэнергии. В дополнение к фотоэлектрическим системам можно установить двигатель-генератор, ветряные генераторы, небольшие гидрогенераторы или любой другой подходящий источник электроэнергии. Гибридные системы идеально подходят для применения в труднодоступных районах (на станциях связи, военных постройках, в сельских поселениях).

При планировании гибридной системы необходимо учитывать не только объем необходимой электроэнергии, но и доступные энергетические ресурсы на месте строительства.

Гибридная фотоэлектрическая ветряная солнечная электростанция с аккумуляторами обеспечивает электроэнергией жилой дом в Кэнон-Сити, штат Колорадо. Солнечная электростанция имеет мощность 2,88 кВт и состоит из 24 модулей по 120 Вт, 20 шестивольтных аккумуляторов Trojan L-16, двух ветряных генераторов Southwest Windpower AIR403, двух мачт и вентилируемого аккумуляторного бокса.

Солнечные электростанции – системы, соединенные с сетью

Солнечные электростанции, соединенные с сетью имеют экологические и экономические преимущества. Потребитель может использовать фотоэлектрическую энергию в своих целях, а когда этой электроэнергии становится недостаточно, то можно использовать энергию из общих электросетей (например: ночью и в облачную погоду). В случае, когда солнечная электростанция не только обеспечивает электричеством какое-либо помещение или оборудование, но и отдает часть электроэнергии в общую сеть, то эта сеть становится, своего рода, аккумулятором для фотоэлектрической энергии. Владелец солнечной электростанции, соединенной с сетью, может как покупать, так и про-

давать электроэнергию. Это становится возможным благодаря тому, что производимую электроэнергию можно использовать непосредственно на месте получения и также передавать в сеть через счетчик.

**Солнечные электростанции – цены на солнечные модули
(состояние на июнь, 2009 год)**

Цены на модули мощностью 125 Вт и выше. Розничная цена за пиковый Ватт (пиковую мощность)	
США	Европа
Доллары США/Вт	Евро/Вт
4,82	4,70

Примечание: Представители индустрии считают, что в следующем десятилетии цена на модули должна снизиться до 1,5 – 2 долларов США за Ватт, чтобы быть конкурентоспособными на рынке энергии для электросетей.

Цены на модули указаны с учетом того, что большинство спроса (МГВт) на данном рынке относится к сегменту модулей с высокой мощностью.

Примеры использования солнечных электростанций

Солнечная энергосистема «Solar Independence»

Солнечная энергосистема «Solar Independence» (Солнечная Независимость) производит 4 кВт электроэнергии и является крупнейшим мобильным солнечным устройством. Синяя часть флага состоит из кремниевых панелей. Производимого электричества хватает для снабжения энергией двух домов. Аккумуляторы, накапливающие до 51 кВтч электроэнергии, находятся в транспортном трейлере за флагом. Эта система применялась на учениях по действиям в чрезвычайных ситуациях в Колорадо.



Солнечная энергосистема Службы охраны рыболовства и диких животных США

Службе охраны рыболовства и диких животных США понадобился экологически чистый и тихий источник электроэнергии на острове недалеко от Сан-Франциско. До установки гибридной солнечной системы мощностью 9,1 кВт, персонал использовал громкие и дорогие дизельные генераторы в течение дня, а ночью оставался без электричества. Бесшумная фотоэлектрическая система компании Applied Power Corporation обеспечи-

вает комплекс круглосуточной электроэнергией. Аккумуляторные батареи имеют значительную емкость и могут хранить трехдневный запас энергии.



Гибридная фотоэлектрическая ветряная система в Кэнон-Сити, Колорадо

Гибридная фотоэлектрическая ветряная система с аккумуляторами обеспечивает электроэнергией жилой дом в Кэнон-Сити, штат Колорадо. Система имеет мощность 2,88 кВт и состоит из 24 модулей по 120 Вт, 20 шести-вольтовых аккумуляторов Trojan L-16, двух ветряных генераторов Southwest Windpower AIR403, двух мачт и вентилируемого аккумуляторного бокса.

4.10. «Звездная» солнечная батарея

Российские ученые-ядерщики разработали солнечную батарею, преобразующую в электричество энергию Солнца днем, а энергию звезд – ночью. «Звездная батарея», как ее назвали разработчики, в несколько раз эффективнее обычной солнечной.

Презентация ноу-хау прошла в Научном центре прикладных исследований Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в подмосковной Дубне. Разработка уже доказала свою высокую эффективность как в темное время суток, так и при облачной погоде. «Эта уникальная батарея, не имеющая аналогов в мире, может работать 24 часа в сутки», – рассказал директор центра прикладных исследований ОИЯИ в Дубне Валентин Самойлов.

По его словам, «ученым удалось создать новое вещество – гетероэлектрик, благодаря которому батарея может работать на энергии Солнца и звезд, независимо от погодных условий». «Эффективность преобразования света в электрический ток у демонстрационного образца в видимой области более чем в два раза выше, чем у обычной солнечной батареи, а в инфракрасной области – в полтора, – подчеркивает Валентин Самойлов. А себестоимость гетеро-электрического фотоэлемента ниже, чем у фотоэлемента обычной солнечной батареи».

Правда, разработке еще предстоит пройти путь от демонстрационного образца к опытной установке.

4.11. Водородная энергетика

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

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

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

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

Небольшое количество водорода получают путем электролиза. Производство водорода методом электролиза воды обходится дороже, чем выработка его из нефти, но оно будет расширяться и с развитием атомной энергетики станет дешевле. Вблизи атомных электростанций можно разместить станции электролиза воды, где вся энергия, выработанная электростанцией, пойдет на разложение воды с образованием водорода. Правда, цена электролитического водорода останется выше цены электрическо-

го тока, зато расходы на транспортировку и распределение водорода настолько малы, что окончательная цена для потребителя будет вполне приемлема по сравнению с ценой электроэнергии.

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

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

В 1969 г. в итальянском отделении «Евратома» была пущена в эксплуатацию установка для термолитического получения водорода, работающая с КПД 55 % при температуре 730 °С. При этом использовали бромистый кальций, воду и ртуть. Вода в установке разлагается на водород и кислород, а остальные реагенты циркулируют в повторных циклах. Другие сконструированные установки работали при температурах 700 – 800 °С. Как полагают, высокотемпературные реакторы позволят поднять КПД таких процессов до 85 %.

Сегодня мы не в состоянии точно предсказать, сколько будет стоить водород. Но если учесть, что цены всех современных видов энергии проявляют тенденцию к росту, можно предположить, что в долгосрочной перспективе энергия в форме водорода будет обходиться дешевле, чем в форме природного газа, а возможно, и в форме электрического тока.

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

Как мы уже говорили, при сжигании водорода не остается никаких вредных продуктов сгорания. Поэтому отпадает нужда в системах отвода этих продуктов для отопительных устройств, работающих на водороде. Более того, образующийся при горении водяной пар можно считать полезным продуктом – он увлажняет воздух (как известно, в современных квартирах с центральным отоплением воздух слишком сух). Отсутствие дымоходов не только способствует экономии строительных расходов, но и повышает КПД отопления на 30 %.

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

4.12. Перспективы развития нетрадиционной энергетики в Республике Беларусь

Основной целью энергетической политики Республики Беларусь на период до 2015 г., является определение путей и формирование механизмов оптимального развития и функционирования отраслей топливно-энергетического комплекса, надежное и эффективное энергообеспечение всех отраслей экономики, создание условий для производства конкурентоспособной продукции, достижение стандартов уровня жизни населения аналогичного высокоразвитым европейским государствам.

Для реализации этой цели Государственная энергетическая программа Республики Беларусь предусматривает использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в нарастающих масштабах. С учетом природных, географических, метеорологических условий республики предпочтение отдается малым гидроэлектростанциям, ветроэнергетическим установкам, биоэнергетическим установкам, установкам для сжигания отходов растениеводства и бытовых отходов, гелиоводоподогревателям. Потенциал топливно-энергетических ресурсов в Республике Беларусь представлен в таблице 4.12.1.

Таблица 4.12.1

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

Вид источника энергии	Общий потенциал	Технически возможный потенциал
Нефть	525,00	94,0
Попутный газ	–	9,3
Торф	1760,0	124,0
Древесно-растительная масса	4,0/год	3,0/год
Отходы гидролизного производства (лигнин)	1,0	0,6
Твердые бытовые отходы	0,52/год	0,2/год
Бурый уголь	1760,00	36,0
Горючие сланцы	2420,0	792,0
Гидроэнергия	1,8/год	1,2/год
Энергия ветра	0,03/год	0,02/год
Энергия Солнца	2,70-106/год	0,6/год
Энергия сжатого природного газа	0,1	0,085
Растительная масса (солома, костра)	1,52/год	0,5/год

Остановимся подробно на характеристике перспектив развития нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Биологическая энергия. Под действием солнечного излучения в растениях образуются органические вещества, и аккумулируется химическая энергия. Этот процесс называется фотосинтезом. Животные существуют за счет прямого или косвенного получения энергии и вещества от растений. Этот процесс соответствует трофическому уровню фотосинтеза.

В результате фотосинтеза происходит естественное преобразование солнечной энергии. Вещества, из которых состоят растения и животные, называют **биомассой**. Посредством химических или биохимических процессов биомасса может быть превращена в определенные виды топлива: газообразный метан, жидкий метанол, твердый древесный уголь. Продукты сгорания биотоплива путем естественных экологических или сельскохозяйственных процессов вновь превращаются в биотопливо. Энергия биомассы может использоваться в промышленности, домашнем хозяйстве. Так, в странах, поставляющих сахар, за счет отходов его производства покрывается до 40 % потребностей в топливе. Биотопливо в виде дров, навоза и ботвы растений применяется в домашнем хозяйстве примерно 50 % населения планеты для приготовления пищи, обогрева жилищ.

Существуют различные *энергетические способы переработки* биомассы:

1) **термохимические** (прямое сжигание, газификация, пиролиз);

Пиролиз – технологический процесс нагревания органических веществ, при полном отсутствии воздуха, или сгорания его части при ограниченном доступе кислорода.

Пиролизу может быть подвергнуто органическое топливо (навоз, торф, древесина, сланцы и др.). В результате пиролиза образуется биогаз разного состава (CH_4 , CO и др.).

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

В настоящее время разработана технология переработки сланцевых пластов прямо под землей с перекачкой полученного «сланцевого» газа на поверхность. Такая технология позволяет использовать широко распространенные сланцевые месторождения и применять вырабатываемый «сланцевый» газ вместо природного газа. В настоящее время Польша с помощью США приступила к строительству таких установок.

2) **биохимические** (спиртовая ферментация, анаэробная или аэробная переработка, биофотолиз);

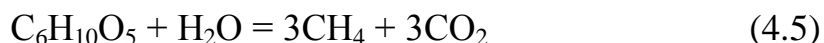
Спиртовая ферментация – технологический процесс дрожжевого преобразования биомассы, содержащей сахара, в этиловый спирт (этанол C_2H_5OH).



Этиловый спирт может использоваться в качестве заменителя бензина в виде 95 % -го этанола в модернизированных двигателях; смеси 100 %-го (обезвоженного) этанола с бензином в соотношении 1:10 в традиционных двигателях.

Анаэробная или аэробная переработка – технологический процесс переработки биомассы микроорганизмами (анаэробными бактериями) в отсутствие или при недостатке кислорода и света в биогаз.

Процесс анаэробного разложения целлюлозы описывается уравнением:



На белково-витаминных комбинатах (БВК) с помощью микроорганизмов (дрожжей) производится переработка зерновых отходов в белковые добавки к кормам (провит). Белковые добавки применяются для улучшения качества пищевых продуктов при разведении птицы, животных, рыбы.

Фотоллиз – процесс разложения воды на водород и кислород под действием света.



В настоящее время этот процесс можно произвести без микроорганизмов или растительного мира только в лабораториях. Промышленного внедрения эти технологии еще не получили.

3) агрохимические (экстракция топлива).

Экстракция топлива – технологический процесс получения жидких или твердых продуктов прямо от растений или животных.

Продукцию растений можно разделить на следующие категории:

- семена – рапс, лен, подсолнечник и др. с массовым содержанием масла до 50 %;
- орехи – пальмовое масло, копра кокосов с массовым содержанием масла до 50 %;
- плоды – оливки;
- листья – эвкалипт с массовым содержанием масла до 25 %;
- сок растений – сок каучука;
- продукты переработки отходов растений – масла и растворители до 15 % сухой массы (скипидар, канифоль, маслянистые смолы и др.).

Получаемые в результате переработки виды биотоплива и ее КПД приведены в таблице 4.12.2.

В последнее время появились проекты создания искусственных энергетических плантаций для выращивания биомассы и последующего преобразования биологической энергии. Для получения тепловой мощности, равной 100 МВт потребуется около 50 м² площади энергетических плантаций. Более широкий смысл имеет понятие энергетических ферм, которое подразумевает производство биотоплива как основного или побочного продукта сельскохозяйственного производства, лесоводства, речного и морского хозяйства, промышленной и бытовой деятельности человека.

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

Таблица 4.12.2

Виды топлива, получаемые в результате переработки биомассы

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

Биомасса – наиболее перспективный и значительный возобновляемый источник энергии в республике, который может обеспечивать до 15 % ее потребностей в топливе. Весьма многообещающе для Беларуси использование в качестве биомассы отходов животноводческих ферм и комплексов. Получение из них биогаза может составить около 890 млн. м³ в год,

что эквивалентно 160 тыс. т у. т. Энергосодержание 1 м³ биогаза (60 – 75 % метана, 30 – 40 % углекислого газа, 1,5 % сероводорода) составляет 22,3 МДж, что эквивалентно 0,5 м³ очищенного природного газа, 0,5 кг дизельного топлива, 0,76 кг условного топлива. Сдерживающим фактором развития биогазовых установок в республике являются продолжительные зимы, большая металлоемкость установок, неполная обеззараженность органических удобрений. Важным условием реализации потенциала биомассы является создание соответствующей инфраструктуры – от заготовки, сбора сырья до доставки конечной продукции потребителю. Биоэнергостановку рассматривают, в первую очередь, как установку для производства органических удобрений и, попутно, – для получения биотоплива, позволяющего получить тепловую и электрическую энергию.

Гидроэнергетические ресурсы. Гидроэнергетика – это область наиболее развитой на сегодня энергетики на возобновляемых ресурсах, использующая энергию падающей воды, волн (амплитуда волн в некоторых районах мирового океана достигает 10 м) и приливов. Цель гидроэнергетических установок – преобразование потенциальной энергии воды в механическую энергию вращения гидротурбины.

Преобразование гидроэнергии в электрическую стало возможным в конце XIX века. Крупные гидроэлектростанции (ГЭС) начали строиться на рубеже XIX и XX веков. Наносимый окружающей среде их водохранилищами ущерб: уничтожение флоры, фауны, плодородных земель в результате затопления, климатические изменения, потенциальная угроза землетрясений и др., заиливание гидротурбин, их коррозия, большие капитальные затраты на сооружение – наиболее сложные проблемы, связанные с сооружением и эксплуатацией ГЭС. Вырабатываемую ГЭС энергию легко регулировать, и она преимущественно используется для покрытия пиковой части графика нагрузки энергосистем с целью улучшения работы базисных электростанций (ТЭС, КЭС, АЭС).

Республика Беларусь – преимущественно равнинная страна, тем не менее, ее гидроэнергетические ресурсы оцениваются в 850 – 1000 МВт. Однако практически реализуемый потенциал малых рек и водотоков составляет едва ли 10 % этой величины, что эквивалентно экономии 0,1 млн. т у. т./год. Для достижения большего пришлось бы затопить значительные площади из-за равнинного характера рек.

К концу 60-х гг. в Беларуси эксплуатировалось около 180 малых ГЭС (МГЭС) общей мощностью 21 МВт. В настоящее время осталось лишь 6 действующих МГЭС. Основные направления развития гидроэнергетики

республики: восстановление старых МГЭС путем капитального ремонта и частичной замены оборудования; сооружение новых МГЭС на водохранилищах неэнергетического (комплексного) назначения, на промышленных водосбросах; строительство бесплотинных ГЭС на реках со значительным расходом воды. Работы по восстановлению МГЭС уже начаты. В 1992 – 2000 гг. в республике восстановлены следующие ГЭС:

Добромыслянская (Витебская обл.)	– 200 кВт;
Гонолес (Минская обл.)	– 250 кВт;
Войтощизненская (Гродненская обл.)	– 150 кВт;
Жемыславльская (Гродненская обл.)	– 160 кВт;
1-я очередь Вилейской ГЭС (Минская обл.)	– 900 кВт;
Богинская (Витебская обл.)	– 300 кВт;
Ольховка (Гродненская обл.)	– 100 кВт;
Тетеринская (Могилевская обл.)	– 600 кВт.

Проведенный анализ показывает, что в перспективе на притоках рек Западная Двина, Неман, Вилия, Днестр, Припять и Западный Буг может быть построено около 50 малых ГЭС суммарной мощностью 50 тыс. кВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 160 млн. кВтч.

Однако наиболее значительный вклад гидроэнергетики в общий энергетический баланс республики может внести строительство каскада ГЭС на реках Западная Двина, в районе Витебска, Полоцка, Верхнедвинска, Бешенковичей, и Немане, в районе г. Гродно и д. Немново. Эти гидроэлектростанции при относительно небольшом затоплении пойменной территории позволят получить до 800 млн. кВт·ч в год электроэнергии при установленной мощности около 240 МВт.

Ветроэнергетические ресурсы. Ветер представляет собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температур в атмосфере из-за неравномерного нагрева земной поверхности Солнцем.

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

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

Обратим внимание на **современные способы применения энергии ветра в механических целях:**

- гоночные яхты, паромы, большие суда для перевозки грузов с автоматизированным управлением парусами;
- ветряные мельницы;
- водяные насосы мощностью до 10 кВт, приводимые в движение ветроколесом и используемые в сельском хозяйстве.

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

Основным направлением использования ВЭУ в нашей республике на ближайший период будет применение их для привода насосных установок и как источников энергии для электродвигателей. Перспективны ВЭУ в сочетании с МГЭС для перекачки воды. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями к качеству электрической энергии, что позволяет резко упростить и удешевить ветроэнергетические установки. Готовится к серийному выпуску ветроустановка мощностью 5 – 8 кВт, устойчиво работающая при скорости ветра 3,5 м/с. Разрабатывается и готовится к испытаниям более мощная ВЭУ с горизонтальным ветроколесом.

По сегодняшним прогнозам вклад ветровой энергетики в общий энергобаланс республики в ближайшей перспективе предполагается незначительным.

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

Известно два направления использования солнечной энергии. Наиболее реальным, находящим относительно широкое распространение в таких странах, как Австралия, Израиль, США, Япония, является преобразование солнечной энергии в тепловую энергию и использование в нагрева-

тельных системах. Второе направление – системы непрямого и прямого преобразования в электрическую энергию.

Солнечные нагревательные системы могут выполнять, ряд функций:

- подогрев воздуха, воды для отопления и горячего водоснабжения зданий;
- сушка пшеницы, риса, кофе, других сельскохозяйственных культур, лесоматериалов для предупреждения их поражения насекомыми и плесневыми грибами;
- поставка теплоты для работы абсорбционных холодильников;
- опреснение воды в солнечных дистилляторах;
- приготовление пищи;
- привод насосов.

Для территории Беларуси свойственна относительно малая интенсивность солнечной радиации и существенное изменение ее в течение суток и года. В этой связи необходимо отчуждение значительных участков земли для сбора солнечного излучения, весьма большие материальные и трудовые затраты. По оценкам, для обеспечения потребностей Беларуси в электроэнергии при современном техническом уровне требуемая площадь фотоэлектрического преобразования составляет 200 – 600 км², т. е. 0,1 – 0,3 % площади республики. Появились предложения об использовании территории Чернобыльской зоны для строительства площадок солнечных и ветровых электростанций.

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

В целом вопрос широкомасштабного использования солнечных теплоиспользующих систем различного назначения требует тщательной проработки и соответствующих инвестиций. Так, для круглогодичного применения солнечной энергии для нужд теплоснабжения необходимы сезонные аккумуляторы тепла большой емкости, а фотоэлектрические системы требуют значительного уменьшения их стоимости.

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

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

В Новой Зеландии, Италии, США работают геотермальные электростанции (ГеоТЭС). Теплота из недр Земли на этих станциях поступает с паром, извлекаемым через пробуренные скважины или естественные трещины и расщелины. Со временем давление и температура в скважине падают, поверхность вокруг нее на площади в 6 км² оседает, производительность убывает. Чтобы предотвратить этот процесс, под землю под высоким давлением должна закачиваться вода, что связано с риском возникновения землетрясений.

Температурные условия недр территории Беларуси изучены недостаточно. По предварительным данным, наиболее благоприятные условия для образования термальных вод имеются в Припятской впадине. Температура воды на устье скважин составляет 35 – 500 °С. Относительно низкая температура вод, большая глубина залегания (2000 – 3000 м), их высокая минерализация (330 – 450 г/дм³), низкий дебит скважин (100 – 150 м³/сутки) не позволяют в настоящее время рассматривать термальные воды в качестве заслуживающего внимания источника энергии.

Твердые бытовые отходы. В жилых и общественных зданиях (школах, вузах, детсадах, магазинах, столовых и т. д.) образуются твердые бытовые отходы (ТБО). Содержание органического вещества в них составляет 40 – 75 %, углеводов – 35 – 40 %, зольность – 40 – 70 %. Количество горючих компонентов в ТБО равно 50 – 88 %. Их теплотворная способность – 800 – 2009 ккал/кг. Бытовые отходы содержат так же трудно разлагаемые химические элементы, в их числе: хлорорганические и токсичные. В большой степени ТБО обогащены кадмием, оловом, свинцом и медью.

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

ствованных из опыта других стран, либо развернуть исследования и создать собственные технологии переработки ТБО.

Представленные материалы убеждают, что нетрадиционные и возобновляемые источники энергии обладают огромным потенциалом, достаточным для того, чтобы навсегда закрыть вопрос о недостатке энергии. Так почему же мы видим сегодня, что этот потенциал используется очень и очень слабо? Основная причина – экономическая. Ведь и сегодня стоимость углеводородных топлив еще настолько невелика, что вкладывать значительные средства в освоение нетрадиционных источников просто невыгодно, учитывая и ту особенность многих из них, которая связана с неравномерностью и непредсказуемостью поступления энергии от таких источников.

Но сегодня человечество приближается к той черте, когда отдавать предпочтение традиционным энергоресурсам уже нельзя, они на исходе (в историческом плане), и НИЭ становятся полноценным соперником традиционных источников. Поэтому всегда следует проводить скрупулезный экономический анализ, прежде чем решить тот или иной вопрос об использовании источников энергии.

Считается, что для становления новой энергетики потребуется около пятидесяти лет. Это тот уже совсем небольшой запас времени, которым мы располагаем. Сегодня еще трудно представить себе энергетику будущего в четком виде. Новая энергетика по своей структуре обязательно будет многоплановой. Это будет отрасль, включающая в себя и тепловую, и гидравлическую, и ядерную, и солнечную, и ветроэнергетику и еще многие другие направления получения энергии. Такой путь развития энергетики представляется естественным и более надежным, гарантирующим успешное решение энергетической проблемы, хотя науке многое предстоит еще выяснить у природы, а технике многое сделать впервые.

ЧАСТЬ 3. ТЕПЛОВОЙ НАСОС

4.13. Классификация и область применения

Тепловой насос – термодинамическая установка, в которой теплота от низкопотенциального источника передается потребителю при более высокой температуре. При этом затрачивается механическая энергия.

По сути, тепловой насос – это слегка преобразованный холодильник. В обоих есть испаритель, компрессор, конденсатор и дросселирующее устройство. Цикл работы у холодильника и теплового насоса абсолютно одинаков, разнятся только параметры настройки. Даже внешне, по размерам и форме, они похожи друг на друга.

Холодильник работает, выкачивая тепло наружу, тепловой насос работает по такому же принципу только наоборот – он нагнетает тепло с улицы или из почвы в Вашу квартиру. В холодильнике почти не ощущаемое тепло продуктов в конечном итоге выделяется в виде довольно горячего потока воздуха, отходящего от трубчатой панели конденсатора («радиатор» на задней стенке). Поэтому, если из холодильника вытащить испарительную камеру (с трубами) и закопать в землю, мы и получим тепловой насос, который будет обогревать комнату теплым воздухом. А если конденсатор холодильника омывать водой, то ее, нагретую, можно использовать в радиаторах отопления или в теплом полу.

Большую перспективу представляет использование тепловых насосов в системах горячего водоснабжения (ГВС) зданий. Известно, что в годовом цикле на ГВС расходуется примерно столько же тепла, как и на отопление зданий. Примером здания, в котором тепловые насосы использованы для ГВС, является многоэтажный жилой дом, построенный в Москве в Никулино-2, а также в 2010 г. в г. Минске. В этих зданиях в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии используется тепло земли и удаляемого вентиляционного воздуха. Источником низкопотенциальной тепловой энергии может быть тепло как естественного, так и искусственного происхождения.

В качестве *естественных источников низкопотенциального тепла* могут быть использованы: а) тепло земли (тепло грунта); б) подземные воды (грунтовые, артезианские, термальные); в) наружный воздух.

В качестве *искусственных источников низкопотенциального тепла* могут выступать:

- а) удаляемый вентиляционный воздух;
- б) канализационные стоки (сточные воды);
- в) промышленные сбросы;
- г) тепло технологических процессов;
- д) бытовые тепловыделения.

Ранее тепловой насос использовался в первую очередь для кондиционирования (охлаждения) воздуха. Система была способна также обеспечить определенную отопительную мощность, в большей или меньшей степени удовлетворяющую потребности в тепле в зимний период. Однако характеристики этого оборудования стремительно меняются: сейчас во многих странах Европы тепловые насосы используются в отоплении и системах горячего водоснабжения зданий.

Такое положение вызвано поиском экологичных решений: вместо традиционного сжигания ископаемого топлива – использование альтернативных источников энергии, например, солнечной. Для массового потре-

бителя одним из наиболее предпочтительных вариантов использования нетрадиционных источников энергии является использование низкопотенциального тепла посредством тепловых насосов.

Существуют разные варианты классификации тепловых насосов. Ограничимся делением систем по их оперативным функциям на две основные категории:

1) тепловые насосы **только для отопления и/или горячего водоснабжения**, применяемые для обеспечения комфортной температуры в помещении и/или приготовления горячей санитарной воды;

2) **интегрированные системы** на основе тепловых насосов, обеспечивающие отопление помещений, охлаждение, приготовление горячей санитарной воды и, иногда, утилизацию отводимого воздуха. Подогрев воды может осуществляться либо отбором тепла перегрева подаваемого газа с компрессора, либо комбинацией отбора тепла перегрева и использования регенерированного тепла конденсатора.

Тепловые насосы, предназначенные исключительно для приготовления горячей санитарной воды, зачастую в качестве источника тепла используют воздух среды, но равным образом могут использовать и отводимый воздух.

Следует отметить, что постепенно увеличивается предложение тепловых насосов класса реверсивные «воздух-вода», чаще всего поставляемых в комплекте с расширительным баком и насосным агрегатом. По отдельному заказу поставляется накопительный резервуар. Такие насосы можно врезать непосредственно в существующие водопроводные системы.

В Германии и других странах Северной Европы распространены тепловые насосы, которые используют тепло, содержащееся в грунте. Диапазон тепловой мощности разработанных моделей самый широкий – от 5 до 70 кВт.

По данным на 1997 г. из 90 млн. тепловых насосов, установленных в мире, только около 5 %, или 4,28 млн. аппаратов, смонтировано в Европе. Совсем немного по сравнению с 57 млн. систем, имеющихся в Японии, где такое оборудование является основным в обеспечении отопления жилого фонда. В Соединенных Штатах насчитывается 13,5 млн. установленных агрегатов, а еще только развивающийся китайский рынок достиг уровня 10 млн. систем.

Примерная оценка числа тепловых насосов, установленных в главных странах Сообщества за 1997 г. в жилом фонде, торгово-административных и промышленных сооружениях, приводится в рис. 4.6. Основную долю составляют страны Южной Европы: Испания, Италия и Греция.

Страна	Жилой фонд*	Торгово-административный фонд	Промышленный фонд**	Всего на 1997год
Австрия	133100	4300	нет данных	137400
Дания	31300	2000	1000	34300
Франция	53000	61000	675	114675
Германия	363120	5300	300	368720
Греция	570840	266220	нет данных	837060
Италия***	800000	20000	нет данных	820000
Голландия****	2856	136	159	3151
Норвегия	13500	6400	726	20626
Испания	802000	411000	7390	1200390
Швеция	250000	нет данных	нет данных	250150
Швейцария	39500	3400	нет данных	42900
Англия	13900	414060	600	428560
Всего	3073116	>1193816	>11000	>4277932
* в том числе водяные отопители; ** в том числе районные системы; *** ориентировочно; **** только отопление				

Рис. 4.6. Количество тепловых насосов, установленных в Европе, по данным на 1997 год

Так, в жилом фонде имеется 3 млн. установленных тепловых насосов. Однако по степени охвата показатель небольшой – около 1 %. Хотя очевидно, что установленные в торгово-административном фонде 1,2 млн. агрегатов, составляя абсолютное наименьшее значение, будут иметь несколько больший охват.

Примерно 77 % установленных в Европе тепловых насосов используют наружный воздух в качестве источника тепла, хотя в Швеции, Швейцарии и Австрии преобладают тепловые насосы, забирающие тепло из грунта по заглубленному змеевиковому теплообменнику: данные по этим странам составляют соответственно 28, 40 и 82 %. В Северной Европе зачастую тепловые насосы применяются только для отопления и приготовления горячей санитарной воды.

4.14. Источники низкопотенциальной тепловой энергии

Тепловой насос предназначен для использования энергии, получаемой от источника тепла низкой температуры. Тепловые, энергетические и экономические характеристики тепловых насосов тесно взаимосвязаны с характеристиками источников, из которых насосы берут тепло. Идеальный источник тепла должен давать стабильную высокую температуру

в течение отопительного сезона, не быть коррозионным и загрязняющим, иметь благоприятные теплофизические характеристики, не требовать существенных инвестиций и расходов по обслуживанию. В большинстве случаев имеющийся источник тепла является ключевым фактором, определяющим эксплуатационные характеристики теплового насоса.

В качестве источников тепла в небольших системах на базе тепловых насосов широко используются наружный и отводимый воздух, почва и подпочвенная вода, для систем большой мощности применяются морская, озерная и речная вода, геотермические источники и грунтовые воды.

Воздух. Наружный воздух, будучи совершенно бесплатным и общедоступным, является наиболее предпочтительным источником тепла. Тем не менее, тепловые насосы, применяющие именно воздух, имеют фактор сезонной нагрузки (SPF) в среднем ниже на 10 – 30 % по сравнению с водяными тепловыми насосами. Это объясняется следующими обстоятельствами:

- быстрым снижением мощности и производительности с падением наружной температуры;
- относительно большой разностью температур конденсации и испарения в период минимальных зимних температур, что в целом снижает эффективность процесса;
- энергозатратами на размораживание испарительной батареи и функционирование соответствующих вентиляторов.

В условиях теплого и влажного климата на поверхности испарителя в диапазоне от 0 до 6 °С образуется изморось, что ведет к снижению мощности и производительности теплового насоса. Иней уменьшает площадь свободной поверхности и препятствует прохождению воздуха.

Как следствие, снижается температура испарения, что, в свою очередь, способствует нарастанию инея и дальнейшему неуклонному снижению производительности вплоть до возможной полной остановки агрегата вследствие срабатывания контрольного датчика низкого давления, если прежде не будет устранено обледенение.

Размораживание батареи осуществляется путем инверсии охлаждающего цикла или иными, хотя и менее эффективными способами.

Энергопотребление имеет тенденцию к росту. Общий коэффициент производительности COP сокращается с увеличением частоты размораживания. Применение специальной системы контроля, обеспечивающей размораживание по требованию (т. е. когда оно фактически необходимо), а не периодическое, может существенно повысить общую эффективность.

Еще один источник тепла в жилых и торгово-административных сооружениях – отводимый вентиляционный воздух. Тепловой насос регенерирует тепло из отводимого воздуха и обеспечивает приготовление горячей воды или теплого воздуха для отопления помещений. В этом случае, однако, требуется постоянное вентилирование в течение всего отопительного сезона или даже целого года, если предусмотрено кондиционирование помещений в летний период. Существуют аппараты, в которых конструктивно изначально заложена возможность использования и отводимого вентиляционного, и наружного воздуха. В некоторых случаях тепловые насосы, применяющие отводимый воздух, используются в комбинации с рекуператорами «воздух – воздух».

Воздух как универсальный теплоноситель используется в больших установках круглогодичного кондиционирования. Он обладает низкими значениями коэффициентов теплоотдачи, поэтому для уменьшения поверхности испарителя приходится снижать температуру кипения рабочего тела, вследствие этого уменьшается степень совершенства теплонаносной установки. Данные испытания таких установок, использующих воздух в качестве источника тепла, свидетельствуют о том, что средний коэффициент m за отопительный сезон не превышает 2 – 2,5. При эпизодически низких температурах наружного воздуха, включают запасные электронагреватели. Наилучшим методом борьбы с инеем является его автоматическое оттаивание, проводимое периодически.

Вода. Наиболее целесообразно применение отходов теплой воды промышленных предприятий, в том числе циркуляционной воды тепловых электростанций и др. Кроме того, используют также естественные горячие источники в курортных местностях.

Ввиду больших расходов – употребление городской воды неэкономично. Водные источники из сравнительно глубоких слоев почвы, имеющие температуру, близкую к среднегодовой, обеспечивают более высокий коэффициент преобразования m по сравнению с воздухом.

Подпочвенные воды есть во многих местах, они обладают достаточно стабильной температурой в диапазоне от 4 до 10 °С. Для использования воды, как источника тепла, применяются открытые системы: подпочвенная вода откачивается и подается на теплообменник системного агрегата, где у воды отбирается часть содержащегося в ней тепла. Вода, охлажденная таким образом, отводится в сливной колодец или поверхностные воды. Открытые системы требуют самого тщательного проектирования в целях предотвращения проблем с замерзанием, коррозией и накоплением отложений.

Большим недостатком тепловых насосов, работающих на подпочвенных водах, является высокая стоимость работ по монтажу водозабора.

Кроме того, следует учитывать требования, порой весьма жесткие, местных администраций в вопросах использования сточных вод.

Речная и озерная вода с теоретической точки зрения представляется весьма привлекательным источником тепла, но имеет один существенный недостаток – чрезвычайно низкую температуру в зимний период (она может приближаться к 0 °С). Если используются вода рек, озер и морей, то в зимний период она может замерзать на стенках испарителя. По этой причине требуется особое внимание при проектировании системы в целях предотвращения замораживания испарителя.

Морская вода представляется в некоторых случаях отличным источником тепла и используется в основном в средних и крупных системах. На глубине от 25 до 50 м морская вода имеет постоянную температуру в диапазоне от 5 до 8 °С. И, как правило, проблем с образованием льда не возникает, поскольку точка замерзания здесь от -2 до -10 °С. Есть возможность использовать как системы прямого расширения, так и системы с рассолом. Важно лишь использовать теплообменники и насосные агрегаты, стойкие к воздействию коррозии, и предотвращать накопление отложений органического характера в водозаборном трубопроводе, теплообменниках, испарителях и пр.

Грунтовыми водам свойственна относительно высокая и стабильная в течение года температура. Основные ограничения здесь могут составлять расстояние транспортировки и фактические ресурсы, объем которых может меняться. Примерами возможных источников тепла в данной категории носителей можно считать грунтовые воды на канализационных участках (очистные и прочие водостоки), промышленные водостоки, водостоки участков охлаждения промышленных конденсаторов или производства электроэнергии.

Водоём. Ближайший водоем – идеальный источник тепла для теплового насоса. При использовании в качестве источника тепла воды озера или реки контур укладывается на дно. Этот вариант является идеальным с любой точки зрения – «высокая» температура окружающей среды (температура воды в водоеме зимой всегда положительная), короткий внешний контур, высокий коэффициент преобразования энергии тепловым насосом. На 1 метр трубопровода приходится ориентировочно 30 Вт тепловой мощности. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходимо уложить в озеро контур длиной 300 метров.

Для того чтобы трубопровод не всплывал, необходимо установить около 5 кг груза на 1 погонный метр трубопровода.

Грунт. Грунт применяют в качестве естественного источника тепла для зимнего отопления и летнего кондиционирования. Змеевики испарите-

ля закладывают в грунт, причем выгодно используют его зонную аккумуляционную способность. По практическим данным, коэффициент m составляет от 2,2 до 3,2 в зависимости от внешних условий. Величины теплопередачи в грунте главным образом зависят от его влажности.

Тепловые насосы, использующие грунт в качестве источника тепла, применяются для обслуживания жилых и торгово-административных сооружений. Грунт, как и подпочвенные воды, имеет одно преимущество – относительно стабильную в течение года температуру. Тепло отбирается по трубам, уложенным в землю горизонтально или вертикально (спиралеобразно).

Могут использоваться:

- системы прямого расширения с охлаждающей жидкостью, испаряющейся по мере циркуляции в контуре трубопровода, заглубленного в грунт;
- системы с рассольной жидкостью, прокачиваемой по трубопроводу, заглубленному в грунт.

В целом тепловые насосы рассольного типа имеют более низкую производительность по сравнению с агрегатами первого типа в силу происходящего в них «двойного» теплообмена (грунт – рассол, рассол – хладагент) и энергозатрат на обеспечения работы циркуляции рассола, хотя обслуживать такие системы существенно проще.

Тепловая емкость грунта варьируется в зависимости от его влажности и общих климатических условий конкретной местности. В силу производимого отбора тепла во время отопительного сезона его температура понижается.

В условиях холодного климата большая часть энергии извлекается в форме латентного тепла, когда грунт промерзает. В летний период под действием солнца температура грунта вновь поднимается, и появляется возможность вернуться к первоначальным условиям. Действующие по такому принципу тепловые насосы обычно называют геотермическими, что по сути своей неверно, поскольку здесь не задействовано радиогенное тепло земли, содержащееся в глубинных скальных породах.

Геотермическими (скальными) источниками можно пользоваться в регионах, где подпочвенных вод мало или нет совсем. Тогда нужно пробурить колодцы глубиной от 100 до 200 м. В случае если требуется обеспечить высокую тепловую мощность, колодцы бурятся под определенным наклоном таким образом, чтобы добраться и упереться в большой скальный массив. Для таких тепловых насосов также применяется рассольная жидкость и пластмассовый сварной трубопровод, извлекающий тепло из скалы. В некоторых системах скальная порода используется для аккумуляции тепла или охлаждающей

энергии. В силу высокой стоимости буровых работ скальные породы для обслуживания жилого сектора применяются довольно редко.

Скважина. При использовании в качестве источника тепла скалистой породы трубопровод опускается в скважину. Можно пробурить несколько не глубоких скважин – это, возможно, обойдётся дешевле, чем одна глубокая. Главное – получить общую расчетную глубину.

Для предварительных расчетов используется следующее соотношение – 50 – 60 Вт тепловой энергии на 1 м скважины. То есть, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходима скважина глубиной 170 м.

Земляной контур. При укладке контура в землю желательно использовать участок с влажным грунтом, лучше всего с близкими грунтовыми водами. Использование сухого грунта тоже возможно, но это приводит к увеличению длины контура. Трубопровод должен быть зарыт на глубину примерно 1 м, расстояние между соседними трубопроводами – примерно 0,8 – 1 м.

Удельная тепловая мощность трубопровода, уложенного в землю, – 20 – 30 Вт/м. Т. е. для установки теплового насоса производительностью 10 кВт достаточно 350 – 450 м теплового контура, для чего хватит участка $20 \times 20 \text{ м}^2$.

Специальной подготовки почвы не требуется, влияния на растения трубопровод при правильном расчёте не оказывает.

4.15. Цикл теплового насоса

Теплообмен между рабочим телом и источником высокой температуры протекает при конечной разности температур необратимо. В результате такого теплообмена увеличивается энтропия:

$$(S_d - S_c) - (S_2 - S_3) = \Delta S \quad (4.7)$$

Площадь под процессом $4 - 1$ (рис. 4.7), характеризующая количество подведенного тепла к рабочему телу, равна площади $e - 4' - 5 - \kappa$, следовательно, процесс $5 - 4'$ характеризует убывание энтропии окружающей среды:

$$(S_1 - S_4) - (S_5 - S_4') = \Delta S_I > 0 \quad (4.8)$$

Степень термодинамического совершенства этого цикла, как и в холодильном цикле, характеризуется коэффициентом обратимости. Для энергетической оценки цикла вводят коэффициент преобразования (трансформации):

$$j = Q / L \text{ или } j = E + 1 \quad (4.9)$$

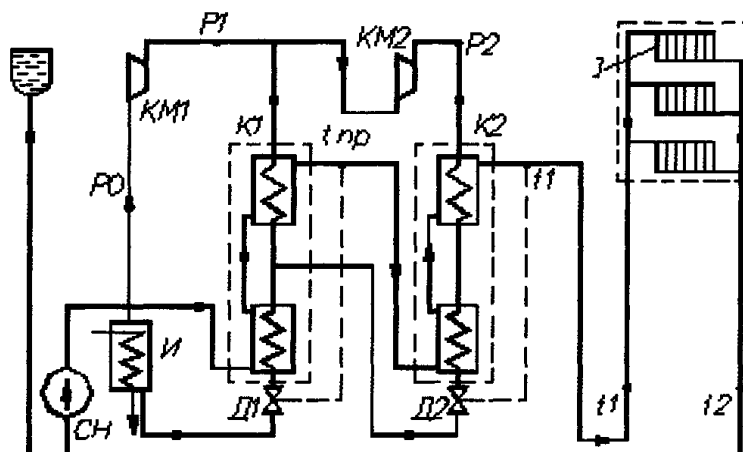


Рис. 4.8. Схема теплоснабжения с помощью тепловых насосов

Тепло от источника низкой температуры (воды или воздуха) передается в испарителе к кипящему рабочему телу, пар которого при давлении P_0 направляется из испарителя I в компрессор нижней ступени $KM1$, где сжимается до давления P_{k1} . После компрессора $KM1$, рабочее тело распределяется двумя потоками. Один из них поступает в конденсатор $K1$. Другой поток поступает в компрессор $KM2$ и сжимается до давления P_{k2} . Из компрессора $KM2$ пар рабочего тела поступает в конденсатор $K2$, где нагревает теплоноситель от промежуточной температуры t_{np} до температуры $t1$.

Из конденсатора $K2$ жидкое рабочее тело отводится в конденсатор $K1$ через дроссельный вентиль $D2$. Весь поток конденсата поступает из конденсатора $K1$ через дроссельный вентиль $D1$ в испаритель.

Режим работы теплонаносной машины определяется режимом работы отопительной системы. При повышении наружных температур отопительного сезона работает только компрессор нижней ступени $KM1$. При этом весь поток рабочего тела после компрессора $KM1$ поступает в конденсатор $K1$, где нагревает теплоноситель до температуры $t1$. Теплонаносная машина регулируется с помощью регулятора температуры, воздействующего на дроссельный вентиль $D1$.

При более низких температурах наружного воздуха включается в работу компрессор $KM2$ и конденсатор $K2$ второй ступени. Регулирование работы установки в диапазоне температур от t_{np} до температуры $t1$ осуществляется с помощью регулятора температуры, воздействующего на дроссельный вентиль $D2$. Иногда верхняя ступень теплового насоса заменяется электрическим нагревателем, что снижает начальные затраты, но приводит к увеличению расхода электроэнергии.

Для круглогодичного кондиционирования в южных районах (отопление зимой, кондиционирование воздуха летом) распространение получают мелкие

теплонаносные автоматизированные агрегаты (кондиционеры с тепловым насосом) для обслуживания небольших многоквартирных домов и отдельных комнат. Эти установки очень компактны и используют наружный воздух в качестве источника низкой температуры. Реверсирование установки, то есть переход с холодильного режима на теплонаносный, осуществляется изменением направления потока рабочего тела. В мелких установках, где в качестве дросселирующего органа служит капиллярная трубка, изменение потока жидкого рабочего тела не вносит каких-либо затруднений в эксплуатацию.

4.17. Пример использования теплонаносной системы для горячего водоснабжения жилого дома

В Москве, в микрорайоне Никулино-2, фактически впервые была построена теплонаносная система горячего водоснабжения многоэтажного жилого дома. Этот проект был реализован в 1998 – 2002 гг. Министерством обороны РФ совместно с Правительством Москвы, Минпромнауки России, Ассоциацией «НП АВОК» и ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» в рамках «Долгосрочной программы энергосбережения в г. Москве». Проект выполнен под научным руководством доктора технических наук, член-корреспондента РААСН Ю.А. Табунщикова.

В качестве низкопотенциального источника тепловой энергии для испарителей тепловых насосов используется тепло грунта поверхностных слоев Земли, а также тепло удаляемого вентиляционного воздуха. Такая система также допускает использование в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии тепло сточных вод. Установка для подготовки горячего водоснабжения расположена в подвале здания. Она включает в себя следующие основные элементы:

- парокompрессионные теплонаносные установки (ТНУ);
- баки-аккумуляторы горячей воды;
- системы сбора низкопотенциальной тепловой энергии грунта и низкопотенциального тепла удаляемого вентиляционного воздуха;
- циркуляционные насосы, контрольно-измерительную аппаратуру.

Основным теплообменным элементом системы сбора низкопотенциального тепла грунта являются вертикальные грунтовые теплообменники коаксиального типа, расположенные снаружи по периметру здания. Эти теплообменники представляют собой 8 скважин глубиной от 32 до 35 м каждая, устроенных вблизи дома.

Система сбора низкопотенциального тепла удаляемого вентиляционного воздуха предусматривает устройство в вытяжных вентиляционных камерах теплообменников-утилизаторов, гидравлически связанных с испарителями теплонаносных установок. В этом случае обеспечивается более глубокое охлаждение вытяжного воздуха и использование его тепла в тепловых насосах для получения горячей воды.

Система решена следующим образом. Из вентиляционных шахт удаляемый воздух собирается в коллектор и из него вытяжным вентилятором прогоняется через теплообменник-утилизатор, охлаждается и выбрасывается в атмосферу. Теплообменник-утилизатор связан с испарителем теплового насоса промежуточным контуром при помощи циркуляционного насоса. От конденсатора теплового насоса полезное тепло отводится в систему горячего водоснабжения.

Поскольку режим работы тепловых насосов, использующих тепло земли и тепло удаляемого воздуха, постоянный, а потребление горячей воды переменное, система горячего водоснабжения оборудована баками-аккумуляторами.

4.18. Компрессор – элемент теплового насоса

Компрессоры паровых холодильных машин входят в состав герметически закрытой системы и предназначены для отсасывания холодного агента из испарителя в целях поддержания в последнем давления P_0 , сжатия пара и выталкивания его в конденсатор при давлении P_K , необходимом для сжатия.

Производительность компрессора характеризуется холодопроизводительностью машины и зависит от конструкции, режима работы холодильной машины и холодильного агента, на котором она работает.

Классификация компрессоров

Компрессоры по принципу действия и конструкции подразделяются на следующие виды:

Гидравлические машины – преобразуют механическую работу в энергию потока жидкости и наоборот.

Турбины или **гидродвигатели** – гидравлическая машина, в которой в результате обмена энергией происходит преобразование механической энергии жидкости в механическую работу (вращение вала, возвратно-поступательное движение поршня и т. д.).

Нагнетатель – гидравлическая машина, в которой происходит преобразование механической работы в механическую энергию жидкости. Основное назначение нагнетателя – повышение полного давления перемещаемой среды.

Насос – устройство, служащее для напорного перемещения (всасывания, нагнетания) главным образом капельной жидкости в результате сообщения ей энергии. Насосы в основном классифицируют по принципу действия и конструкции. В этом смысле их подразделяют на объемные и динамические.

Воздуходувная машина – компрессор, предназначенный для сжатия и подачи воздуха или какого-либо газа под давлением не ниже 0,2 МПа.

Объемные компрессоры – работают по принципу вытеснения, когда давление перемещаемой среды повышается в результате сжатия. В таких компрессорах среда перемещается путем периодического изменения объема камеры, попеременно сообщаемой со входом и выходом компрессора. К ним относятся возвратно-поступательные (поршневые) и роторные (аксиально и радиально-поршневые, шибберные (пластинчатые), винтовые и т. п.) компрессоры.

К *преимуществам* объемных компрессоров относятся:

- возможность развивать напор независимо от подачи;
- высокий КПД;
- способность перекачивать жидкости различной вязкости и температуры;
- возможность перекачивать жидкости, содержащие твердые взвеси;
- хорошая всасывающая способность;
- отсутствие пенообразования.

К *недостаткам* объемных компрессоров относятся:

- сложность конструкции;
- сложная система регулирования подачи;
- пульсирующая подача перекачиваемой жидкости.

Динамические компрессоры – работают по принципу силового действия на перемещаемую среду. В таких компрессорах среда под воздействием гидродинамических сил перемещается в камере (незамкнутом объеме), постоянно сообщаемой с входом и выходом компрессора. К ним относятся лопастные (радиальные, центробежные, осевые) нагнетатели и нагнетатели трения (вихревые, дисковые, струйные и т. п.).

Лопастными называют компрессоры, в которых среда перемещается за счет энергии, передаваемой ей при обтекании лопастей рабочего колеса. Лопастные компрессоры объединяют две большие группы компрессоров: *центробежные* и *осевые*. В центробежных компрессорах среда перемещается через рабочее колесо от центра к периферии, а в осевых – через рабочее колесо в направлении его оси.

В компрессорах **трения и инерции** среда перемещается под действием сил трения и сил инерции. В эту группу входят вихревые, лабиринтные, червячные и другие насосы. Среди них выделяют группу насосов-аппаратов, т. е. насосов без движущихся частей (не считая клапанов). К этой группе относятся струйные насосы, эрлифты, вытеснители.

Часто насосы поставляют в виде *насосного агрегата*, т. е. насоса и двигателя, соединенных между собой. Кроме того, существует понятие *насосная установка*, т. е. насосный агрегат с комплектом оборудования, смонтированного по определенной схеме, обеспечивающей работу насоса в заданных условиях.

4.19. Требования к компрессорам

При проектировании и изготовлении современных компрессоров предусматривают максимальную унификацию и стандартизацию конструкций, то есть создание одинаковых узлов и деталей для компрессоров с неодинаковой холодопроизводительностью и работающих на разных холодильных агентах. Унификация и стандартизация конструкций значительно облегчают организацию серийного производства, снижают себестоимость производства и ремонта.

Компрессоры, используемые в системах теплогазоснабжения и вентиляции, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- соответствие фактическим параметрам работы (давление, расход и мощность) заданным расчетным условиям;
- возможность регулирования подачи и давления в определенных пределах;
- устойчивость и надежность в работе;
- простота монтажа;
- бесшумность при работе.

4.20. Область применения различных насосов, нагнетателей и компрессоров

Нагнетатели различных типов находят широкое применение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха гражданских, общественных и промышленных зданий, в системах тепло-, газо- и водоснабжения, различных теплоэнергетических установках; химической, добывающей, машиностроительной и других отраслях народного хозяйства.

Наибольшее применение получили радиальные (центробежные) нагнетатели со спиральным кожухом общего и специального назначения. Используемые в качестве насосов, они создают напор 3500 м и более и имеют подачу 100 000 м³/ч в одном агрегате; при использовании в качестве вентиляторов их подача достигает 1 000 000 м³/ч в одном агрегате.

Центробежные насосы в системах теплоснабжения применяют для подачи сетевой воды. В теплоэнергетических установках центробежные насосы применяют для питания котлоагрегатов, а также для подачи конденсата в системе регенеративного подогрева питательной воды и циркуляционной воды в конденсаторы турбин. Их используют также в системах гидрозолоудаления. Центробежные насосы применяют для подачи различных растворов и реагентов в технологических системах производств; в строительной и угольной промышленности – при гидромеханизации разработки грунтов и гидравлическом способе добычи угля; в торфяной промышленности – для разработки залежей торфа и подачи смеси торфа с водой.

Осевые нагнетатели широко применяются как в качестве вентиляторов, так и в качестве насосов. В последние годы в связи с увеличением мощностей паровых турбин циркуляционная вода в конденсаторы турбин подается быстроходными осевыми насосами.

Вихревые насосы обычно применяют при необходимости создания большого напора или малой подачи. Поэтому их широко применяют в химической промышленности для подачи кислот, щелочей и других химически агрессивных реагентов, где при малых подачах (малая скорость протекания химических реакций) необходимы высокие напоры (велики гидравлические сопротивления реакторов и давления, при которых протекают реакции). Вихревые машины используют в качестве вакуум-насосов и компрессоров низкого давления. В последние годы они находят применение в системах перекачки сжиженного газа.

Поршневые насосы применяют для питания паровых котлоагрегатов малой паропроизводительности и в качестве дозаторов реагентов для поддержания требуемого качества питательной и котловой воды крупных котлоагрегатов. На тепловых электростанциях поршневые компрессоры служат для обдува поверхностей нагрева котельных агрегатов с целью их очистки от летучих золы и сажи, а также для снабжения воздухом пневматического инструмента и прессов.

Роторные нагнетатели применяют на электростанциях в системах смазки и регулирования турбин (шестеренные насосы), часто используют в качестве компрессоров.

Струйные нагнетатели получили широкое применение во многих отраслях народного хозяйства: в промышленной теплоэнергетике; теплофикационных установках – в качестве элеваторов на вводах теплосети в здание; системах вентиляции цехов химических предприятий, взрыво-, пожароопасных помещений – в качестве эжекторов в вытяжных установках; холодильных установках и для питания паровых котлов в передвижных паросиловых установках – в качестве инжекторов; установках пневмо и гидротранспорта, водоснабжения и др. Струйные насосы используют для удаления воздуха из конденсаторов паровых турбин и в абонентских теплофикационных вводах в качестве смесителей прямой и обратной воды.

Центробежные компрессоры являются основным видом компрессорных машин в химическом и металлургическом производствах. Эти машины получают распространение в системах магистрального газоснабжения.

Компрессоры используются практически во всех отраслях народного хозяйства. Сжатый воздух как энергоноситель применяется в различных пневматических устройствах на машиностроительных и металлообрабатывающих заводах, в горнодобывающей и нефтяной промышленности, при производстве строительных и ремонтных работ. Компрессоры необходимы в газовой промышленности при добыче, транспортировке и использовании природных и искусственных газов.

В химической промышленности газовые многоступенчатые компрессоры используются в циклах синтеза химических продуктов при высоком давлении. В последнее время сжатый воздух, получаемый от поршневых компрессоров, находит применение в текстильной промышленности как энергоноситель для проведения ткацкого процесса.

В установках умеренного и глубокого холода, а также в газотурбинных установках компрессоры являются органической частью, в значительной степени, определяющей экономичность агрегатов.

Контрольные вопросы

1. Что явилось основой развития биоэнергетики в РБ?
2. Какие вещества могут быть использованы в качестве биотоплива?
3. Нарисуйте схему завода по переработке мусора в метан и углекислый газ и объясните принцип его работы.
4. Что является основной частью биотоплива, которая может быть вовлечена в топливно-энергетический баланс для промышленной выработки электроэнергии и тепла?
5. Дайте определение плантационным посадкам быстрорастущих энергорастений.

6. Каким образом может быть увеличен потенциал биомассы быстрорастущих кустарниковых и травянистых растений?
7. Каким образом возможно использование отходов ЖКХ?
8. Назовите основные направления технологического развития биоэнергетики на период до 2015 года?
9. Какие преимущества обеспечит замещение ископаемого топлива на ряде действующих энергоблоков древесным топливом?
10. Какие основные направления научно-исследовательских и поисковых работ для развития биоэнергетики можно рассматривать в Республике Беларусь?
11. Дайте определение и опишите технологический процесс пиролиза.
12. Дайте определение и опишите биохимические процессы переработки биомассы.
13. Дайте определение и опишите агрохимические способы переработки биомассы.
14. Что Вам известно о производстве биотоплива на основе посадок быстрорастущих древесных пород?
15. Что Вам известно о производстве биотоплива на основе посадок быстрорастущих травянистых культур?
16. Какие Вы знаете быстрорастущие травянистые культуры для производства биотоплива?
17. Что такое ветровая энергетика?
18. Принципиальная схема ветряной электрической станции.
19. Получение электрической энергии с помощью ветряной электрической станции.
20. Как накапливать и сохранить впрок энергию ветра?
21. Что такое геотермальная энергетика?
22. На какие три системы можно разделить геотермальную энергетику?
23. Что относится к категории гидротермальных конвективных систем?
24. Что относится к категории горячих сухих систем вулканического происхождения?
25. Что собой представляют системы с высоким тепловым потоком?
26. Что такое – тепловой насос?
27. Классификация и область применения.
28. Источники низкопотенциальной тепловой энергии.
29. Цикл теплового насоса.
30. Примерная схема теплоснабжения с помощью теплового насоса.

31. Использования теплонаносной системы для горячего водоснабжения жилого дома.
32. Компрессор – элемент теплового насоса.
33. Требования к компрессорам.
34. Область применения различных насосов, нагнетателей и компрессоров.
35. Преимущества системы отопления на тепловом насосе.
36. В чем проявляется:
 - автономность;
 - экономичность;
 - универсальность;
 - надежность;
 - долговечность;
 - безопасность;
 - комфорт;
 - многофункциональность;
 - удобство управления;
 - всесезонность;
 - экологичность тепловых насосов?
37. Три основные особенности тепловых насосов.
38. Почему тепловой насос оправдывает себя только в хорошо утепленном здании?
39. Какими теплопотерями обладает хорошо утепленное здание?
40. От чего зависит коэффициент преобразования тепла (КПТ) тепловых насосов?
41. Что такое бивалентные схемы отопления?
42. Из каких элементов состоит тепловой насос?
43. Какие функции выполняют:
 - теплообменник;
 - компрессор;
 - дроссельное устройство;
 - рассольный контур и земляной зонд;
 - контур отопления теплового насоса?
44. Какая жидкость используется в тепловом насосе для передачи тепла Земли отопительной системе дома?
45. Какая температура окружающей среды достаточна для работы теплового насоса?

46. Какую максимальную температуру передает тепловой насос в систему отопления?
47. Окупаемость теплового насоса.
48. Недостатки теплового насоса.
49. Принцип работы установок мини-ОТЕС и ОТЕС-1.
50. Напишите формулу, описывающую максимально возможную мощность в одном цикле прилив – отлив, объясните ее смысл.
51. Напишите формулу, описывающую максимально возможную мощность Гольфстрима.
52. Чем равна возможная мощность Гольфстрима (в ваттах)?
53. Какие Вы знаете способы преобразования солнечного излучения в электрическую энергию?
 54. Преобразование солнечной энергии в тепловую.
 55. Преобразование солнечной энергии в электрическую.
 56. Солнечные элементы – принципы работы.
 57. Типы солнечных элементов.
 58. Солнечные батареи – принцип работы.
 59. Что такое «Пиковый ватт» солнечного элемента?
 60. Что такое «Солнечные электростанции»?
 61. Где можно использовать солнечные электростанции?
 62. Что такое «Звездная» батарея?
 63. Какими способами можно получить водород?
 64. Что такое термолитический метод получения водорода?
 65. Какие три способа переработки биомассы Вы знаете?
 66. Какие виды топлива, получаемые в результате переработки биомассы, Вы знаете?

РАЗДЕЛ № 5. ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ

5.1. Классификация вторичных энергоресурсов

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

Общие энергетические отходы разделяют на четыре вида:

1. Неизбежные потери в технологическом агрегате или установке.
2. Энергетические отходы внутреннего использования, которые возвращаются обратно в технологический агрегат (установку) за счет регенерации или рециркуляции и в результате этого сокращают количество подведенной первичной энергии при неизменной величине поступления энергии в технологический агрегат.
3. Энергетические отходы внешнего использования, представляющие собой **вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)**.
4. Энергетический потенциал отходов продукции, побочных и промежуточных отходов, образующихся в технологических установках (системах), который не используется в самой установке, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других установок.

Технологический агрегат или установка, являющаяся источником отходов энергии, которую можно использовать как полезную, называется агрегатом – источником или установкой – источником ВЭР.

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

Энергетический потенциал отходов и продукции классифицируется по запасу энергии в виде химически связанной теплоты (горючие ВЭР), физической теплоты (тепловые ВЭР), потенциальной энергии избыточного давления (ВЭР избыточного давления). Потенциал горючих ВЭР характеризуется низкой теплотой сгорания Q_n , тепловых – перепадом энтальпий h , избыточного давления – работой изоэнтропного расширения L . Во всех случаях единицей измерения энергетического потенциала является кДж/кг, или кДж/м³.

ВЭР могут применяться по следующим направлениям:

- топливному – с использованием непригодных к дальнейшей переработке горючих отходов в качестве топлива;

- тепловому (холодильному) – с использованием теплоты отходящих газов печей и котлов, теплоты основной, промежуточной и побочной продукции, отработанной теплоты горячих воды, пара и воздуха и ВЭР избыточного давления;
- силовому – с использованием механической и электрической энергии, вырабатываемой за счет ВЭР;
- комбинированному – для производства теплоты (холода), электрической или механической энергии.

5.2. Основные показатели использования вторичных энергоресурсов

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

Удельный выход ВЭР рассчитывают или в единицу времени (1 ч) работы агрегата – источника ВЭР, – или в показателях на единицу продукции. *Удельный выход горючих ВЭР* определяется по формуле:

$$q^{\Gamma} = m \cdot Q_n, \quad (5.1)$$

где: m – удельное количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, кг (m^3)/ед. продукции или кг (m^3)/ч.

Удельный выход тепловых ВЭР определяется по соотношению:

$$q^{\Gamma} = m \cdot h = m \cdot (c_{p1}t_1 - c_{p2}t_2), \quad (5.2)$$

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

c_{p1} – теплоемкость энергоносителя при температуре t_1 (кДж/кг или кДж/ m^3);

c_{p2} – теплоемкость энергоносителя при температуре t_2 . (кДж/кг или кДж/ m^3);

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

Удельный выход ВЭР избыточного давления рассчитывается по формуле:

$$q^{\text{И}} = mL, \quad (5.3)$$

где: L – работа изэнтропийного расширения энергоносителя, кДж/кг.

Общий выход ВЭР за рассматриваемый период времени (сутки, месяц, квартал, год) определяют исходя из удельного или часового:

$$Q_B = q_{уд} \Pi, \quad (5.4a)$$

или:

$$Q_{\Pi} = q_{ч} T, \quad (5.4б)$$

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

Π – выпуск основной продукции или расход сырья, топлива, к которому отнесен $q_{уд}$ за рассматриваемый период, ед. продукции;

$q_{ч}$ – часовой выход ВЭР, кДж/ч;

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

Только часть энергии из общего выхода ВЭР может быть использована как полезная. Поэтому для оценки реального потенциала, пригодного к использованию, рассчитывают возможную выработку энергии за счет ВЭР. Возможная выработка теплоты в утилизационной установке за счет ВЭР для нагрева энергоносителей пара или горячей воды за рассматриваемый период времени:

$$Q_T = m \cdot \Pi \cdot (h_1 - h_2) \cdot \beta \cdot (1 - \xi), \quad (5.5)$$

где: h_1 – энтальпия энергоносителя на выходе из технологического агрегата – источника ВЭР, кДж/кг (m^3);

h_2 – энтальпия энергоносителя при температуре t_2 на выходе из утилизационной установки, кДж/кг (m^3);

β – коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы утилизационной установки и агрегата – источника ВЭР (β изменяется в пределах от 0,7 до 1,0);

ξ – коэффициент потерь энергии в окружающую среду утилизационной установкой и на тракте между агрегатом – источником ВЭР и утилизационной установкой (ξ принимает значения от 0,02 до 0,05).

Возможную выработку теплоты в утилизационной установке можно также определить по формуле:

$$Q_T = Q_B \cdot F_y, \quad (5.6)$$

где: F_y – КПД утилизационной установки.

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

$$S = Q_{и} / Q_T, \quad (5.7)$$

где: $Q_{и}$ – использованная теплота (Q может изменяться от 0,5 до 0,9).

Возможная выработка электроэнергии в утилизационной турбине за счет избыточного давления определяется выражением:

$$W = \Pi \cdot m \cdot L \cdot F_{OT} \cdot F_M \cdot F_G, \quad (5.8)$$

где: F_{OT} – относительный внутренний КПД турбины;
 F_M – механический КПД турбины;
 F_G – КПД электрогенератора.

При использовании горючих ВЭР достигается экономия замещаемого топлива:

$$B = 0,0342 Q_{И} F_{ВЭР} \cdot F_3, \quad (5.9)$$

где: $Q_{И}$ – использованные горючие ВЭР за рассматриваемый период, ГДж;
0,0342 – численное значение коэффициента для перевода 1 ГДж в тонну условного топлива;
 $F_{ВЭР}$ и F_3 – КПД утилизационной установки, работающей на горючих ВЭР, и установки, работающей на замещаемом топливе (F_3 принимает значения от 0,8 до 0,92).

При использовании тепловых ВЭР экономия топлива равна:

$$B = 0,0342 \cdot b_3 \cdot Q_{И}, \quad (5.10)$$

где: $b_3 = 0,0342 / F_3$ – удельный расход условного топлива, т/кДж, на выработку теплоты в замещаемой котельной установке.

При выработке на утилизационной установке электроэнергии или механической работы экономия топлива B определяется выражением:

$$B = b_3 Q_{И}. \quad (5.11)$$

На основе результатов расчета экономии топлива за счет использования ВЭР определяется степень утилизации вторичных энергоресурсов на предприятии.

6.3. Определение объемов выхода и использования вторичных энергоресурсов

Горючие ВЭР. К горючим ВЭР относятся образующиеся в процессе производства основной продукции газообразные, твердые или жидкие отходы, которые обладают химической энергией и могут быть использованы в качестве топлива. Источником горючих ВЭР являются лесная и дерево-

обрабатывающая промышленность, химическая промышленность, сельское и коммунальное хозяйство.

К горючим ВЭР относятся:

- древесные отходы;
- отходы гидролизного производства;
- отходы целлюлозно-бумажной промышленности;
- отходы от производства аммиака, капролактама;
- сельскохозяйственные отходы (солома и ботва растений);
- городской мусор.

В настоящее время большое внимание уделяется утилизации твердых древесных отходов, лигнина, отходов сельскохозяйственного производства и т. п. В лесной и деревообрабатывающей промышленности приблизительно половина заготавливаемой древесины идет в отходы. Одной из первостепенных задач является их утилизация путем сжигания с целью получения теплоты.

Древесные отходы делятся на несколько типов:

- лесосечные отходы (неодревесневшие молодые побеги, хвоя, листья);
- стволовая древесина, кора и древесная гниль.

Древесина по своему составу включает такие же компоненты, что и твердое топливо, за исключением серы. Особенностью древесных отходов некоторых производств является повышенная влажность. Отходы лесозаготовительных предприятий имеют влажность 45 – 55 %. При этом влажность коры достигает 80 %. Отходы деревообрабатывающего и мебельного производства имеют влажность 10 – 20 %. Древесина имеет большой выход летучих веществ, что благоприятствует, несмотря на повышенную влажность, устойчивому процессу горения.

Мелкие древесные отходы различаются также по гранулометрическому составу:

- древесная пыль с частицами менее 0,5 мм;
- опилки – менее 5 – 6 мм, щепа после рубильных машин – менее 30 мм;
- крупная щепа с размерами частиц более 30 мм.

Гранулометрический состав определяют просеиванием через сито.

Способы сжигания древесных отходов зависят от гранулометрического состава и влажности. Древесную пыль без включения абразивных частиц сжигают факельно-вихревым способом, при наличии абразивных частиц – в циклонных топках. Более крупные отходы эффективно сжигать в слоевых топках с «кипящим» или плотным слоем. Первичная переработка местных древесных отходов может включать изготовление брикетов, что позволяет сжигать их

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

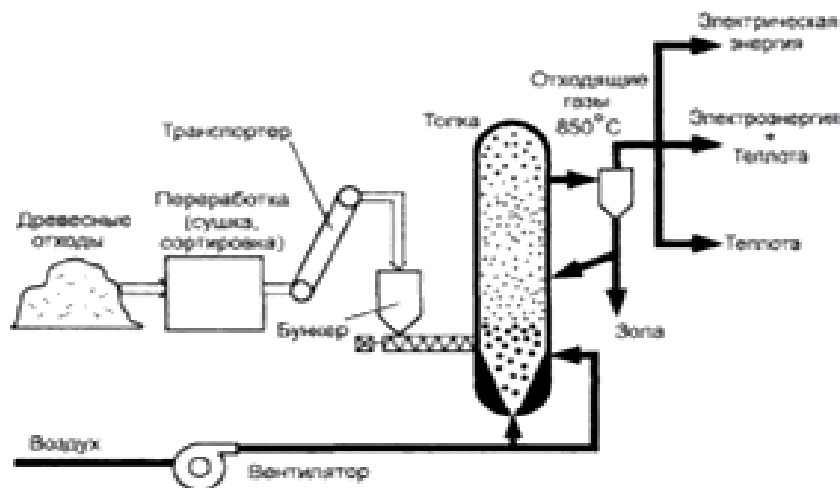


Рис. 5.1. Схема использования древесных отходов для получения энергии

В настоящее время в Германии, Финляндии, Швеции и других странах на основе отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности, включающих остатки лесосечных отходов, стружки и отходов фрезерно-отрезных станков, изготавливаются гранулы (пиллеты). Древесные гранулы по сравнению с исходным сырьем, которое используется самостоятельно в виде топлива, имеют более низкую влажность, высокую плотность (ρ принимает значения от 1100 до 1300 кг/м³) и теплоту сгорания (19 МДж/кг). Их длина равна 20 – 50, а диаметр – 4 – 10 мм. Древесные гранулы в отличие от обычной древесины становятся конкурентоспособными наряду с другими видами твердого, жидкого и газообразного топлива. Их выгодно перевозить на большие расстояния, они занимают меньше места при хранении. Технология изготовления гранул включает крупное дробление, сушку, мелкое дробление, прессование, охлаждение, сортировку, расфасовку. При изготовлении гранул никакие добавки не используются, так как в качестве связующих выступают естественные смолы, лигнин. Для сушки в качестве источника энергии используются некондиционные отходы после сортировки гранул. Для производства гранул требуется 3 % энергии от их потенциала. Данный вид топлива может сжигаться в котлах с механизированной или ручной подачей.

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

5.4. Утилизация тепла паро-жидкостных потоков. Теплообменные аппараты, их конструкции и принцип работы

Теплообменные аппараты. Теплообменные аппараты служат для передачи тепла от одного теплоносителя к другому (обмену теплотой между потоками).

Классификация теплообменных аппаратов по принципу работы:

- рекуперативные;
- регенеративные;
- контактные.

Принцип работы **рекуперативных** теплообменников состоит в передаче тепла от одного потока к другому через разделяющую их поверхность (стенку).

Принцип работы **регенеративных** теплообменников заключается в аккумуляции тепла. Сначала один из теплоносителей нагревает какой-то массивный элемент (насадку, набивку и т. д.), обладающую высокой теплоемкостью, а затем этот элемент отдает тепло второму теплоносителю.

В **контактных** теплообменниках происходит непосредственный контакт теплоносителей, поэтому теплообмен (идет наиболее интенсивно в данном случае) может сопровождаться интенсивным массообменом.

Рассмотрим рекуперативные теплообменники, так как для утилизации тепла парожидкостных потоков обычно используются именно они. Наиболее широко используются три вида рекуперативных теплообменников:

1. Теплообменники типа «труба в трубе».
2. Кожухотрубчатые теплообменники.
3. Пластинчатые теплообменники.

Теплообменники типа «труба в трубе». В этих теплообменниках один поток движется по внутренней трубе, а второй в кольцевом пространстве между трубами (рис. 5.2). Обычно по внутренней трубе пропускают тот теплоноситель, который интенсивнее загрязняет поверхность теплообмена, так как внутреннюю поверхность этой трубы легче очистить, разобрав фланцевые соединения. Если мы рассматриваем вариант подогрева нефти водяным паром, то нефть нужно пропускать по внутренней трубе, а водяной пар – по межтрубному пространству.

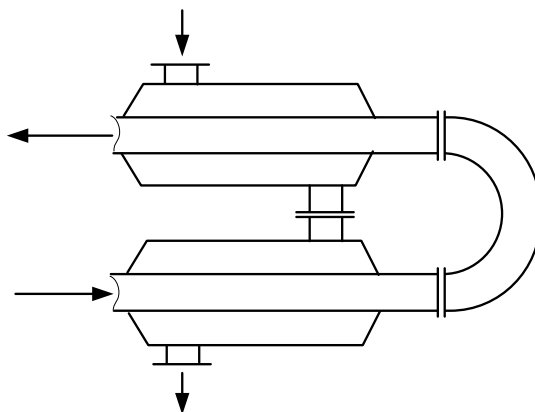


Рис. 5.2. Рекуперативный теплообменник типа «труба в трубе»

Нагреваемые потоки во всех типах теплообменников стараются пропускать снизу вверх, а охлаждаемые сверху вниз, так как при этом снижается гидравлическое сопротивление аппарата (меньшие затраты электроэнергии на перекачку) и не возникает застойных областей и областей обратного перемешивания, снижающих эффективность теплообмена.

Такой тип теплообменников морально устарел и мало используется в промышленности в связи с высокой металлоемкостью и большими габаритами.

Кожухотрубчатые теплообменники. Кожухотрубчатые теплообменники наиболее широко распространены в промышленности. Эскиз многоходового кожухотрубчатого теплообменника представлен на рис. 5. 3.

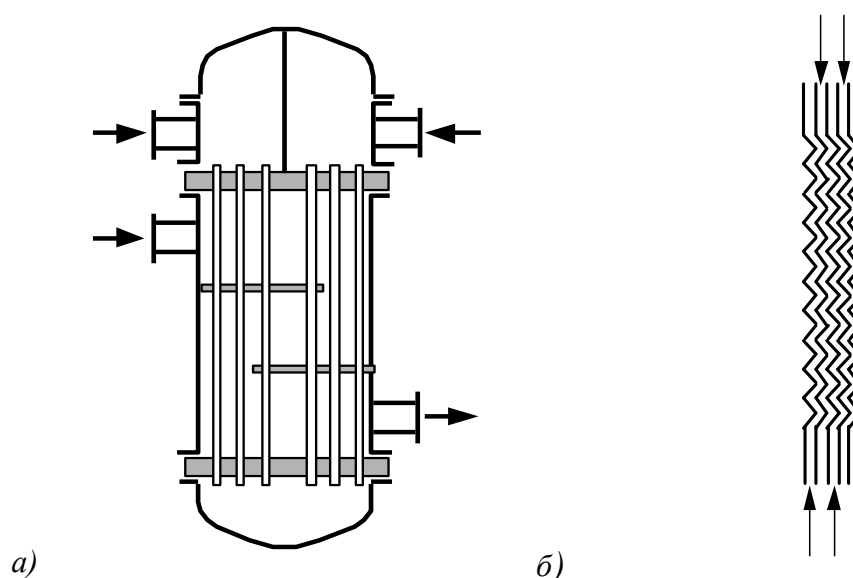


Рис. 5.3. а) Многоходовой кожухотрубчатый теплообменник;
б) Пластинчатые теплообменники

Здесь также более загрязненные потоки (в нашем случае нефть) направляются в трубное пространство. Водяной пар омывает наружную поверхность трубок в межтрубном пространстве.

Мощность теплового потока через поверхность теплообмена (для всех рекуперативных теплообменников) зависит от площади этой поверхности, градиента температур и коэффициента теплопередачи и определяется по формуле:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{ГР}, \quad (5.12)$$

где: F – площадь поверхности теплообмена, м^2 ;
 $\Delta t_{ГР}$ – градиента температур стенки трубы, $\text{T } ^\circ\text{C}$;
 K – коэффициента теплопередачи.

Таким образом, для передачи одного и того же количества тепла при меньшем коэффициенте теплопередачи K требуется большая поверхность F (выше капитальные затраты). Поэтому стараются этот коэффициент повысить. Коэффициент теплопередачи зависит от агрегатного состояния, физических свойств и скорости движения теплоносителей, толщины слоя и удельного термического сопротивления загрязнения, толщины и термического сопротивления теплопередающей поверхности (трубок для рассмотренных выше типов). Почти все рекуперативные теплообменники изготавливают из металлов (в основном сталей), так как металлы имеют самую высокую теплопроводность (самое низкое термическое сопротивление). Для повышения скорости течения потоков теплоносителей в трубном и межтрубном пространствах теплообменников устанавливаются перегородки. Такие теплообменники называются многоходовыми (но при этом возрастает их гидравлическое сопротивление и энергозатраты на перекачку).

Пластинчатые теплообменники. Пластинчатые теплообменники (см. рис. 6.3) применяются реже, чем кожухотрубчатые, но постепенно внедряются все шире. Это связано с их меньшей металлоемкостью, более низким гидравлическим сопротивлением (меньше энергозатраты на перекачку), более высокими коэффициентами теплопередачи по сравнению с кожухотрубчатыми теплообменниками и теплообменниками типа «труба в трубе». Но существуют и недостатки, которые ограничивают область их применения: их нельзя применять при использовании теплоносителей, которые интенсивно загрязняют поверхность пластин, а также при высоких давлениях (> 50 атм.) или при высокой разности давлений теплоносителей.

5.5. Использование тепла отходящих дымовых газов технологических печей. Теплоутилизирующие устройства

Технологические печи являются крупнейшими потребителями энергии на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, в металлургии, а также во многих других отраслях промышленности. На НПЗ в них сжигается 3 – 4 % от всей перерабатываемой нефти.

Средняя температура дымовых газов на выходе из печи, как правило, превышает 400 °С. Это связано с тем, что обычно сырье подается в печь после предварительного подогрева теплом продуктовых потоков (то есть уже с достаточно высокой температурой). Кроме этого разность температур между дымовыми газами на выходе из конвекционной камеры печи и сырьем, поступающим на подогрев, должна составлять 100 – 150 °С (экономический оптимум соотношения капитальных и эксплуатационных затрат). Количество теплоты, уносимой с дымовыми газами, составляет 25 – 30 % от всей теплоты, выделяющейся при сгорании топлива. КПД печей, таким образом, не превышает 60 – 65 % (существуют дополнительные тепловые потери через стенки печи).

Поэтому утилизация тепла уходящих дымовых газов технологических печей приобретает исключительно большое значение.

На основании опыта рекомендуются следующие **принципы рационального использования теплоты дымовых газов**:

- Утилизацию теплоты следует применять для печей с теплопроводностью выше 25 ГДж/ч (в связи с более резким ростом цен на энергоресурсы, чем на металл эта величина постоянно снижается).

- При температуре дымовых газов выше 500 °С следует применять котлы-утилизаторы – КУ.

- При температуре дымовых газов менее 500 °С рекомендуется применять воздухоподогреватели – ВП.

- Наибольший экономический эффект достигается при наличии двухагрегатной установки, состоящей из КУ и ВП (в КУ газы охлаждаются до 400 °С и поступают в воздухоподогреватель на дальнейшее охлаждение) – чаще применяется на нефтехимических предприятиях при высокой температуре дымовых газов.

- Если количество дымовых газов превышает 40000 м³/ч, то для выработки пара лучше применять КУ с принудительной циркуляцией, а при меньшем количестве – с естественной.

Котлы-утилизаторы. В КУ теплота дымовых газов используется для получения водяного пара. КПД печи повышается на 10 – 15 %, но расход топлива не снижается (просто помимо подогрева сырья дополнительно вырабатывается некоторое количество пара).

Котлы-утилизаторы могут выполняться встроенными в конвекционную камеру печи, или выносными. Достоинствами встроенных змеевиковых котлов являются простота конструкции отводящих газоходов, уменьшение площади застройки, возможность исключить установку дымососов. Однако вследствие низкой скорости дымовых газов коэффициент теплопередачи оказывается довольно низким, что требует применения большей поверхности теплообмена для съема одинакового количества теплоты, чем у выносного котла-утилизатора.

Выносные котлы утилизаторы делятся на два типа: 1) котлы газотрубного типа; 2) котлы пакетно-конвективного типа.

Выбор требуемого типа осуществляется в зависимости от требуемого давления получаемого пара. Первые используют при выработке пара относительно низкого давления – 14 – 16 атм., вторые – для выработки пара давлением до 40 атм. (однако они рассчитаны на начальную температуру дымовых газов около 850 °С).

Давление вырабатываемого пара необходимо выбирать с учетом того, потребляется ли весь пар на самой установке или же имеется избыток, который необходимо выводить в общезаводскую сеть. В последнем случае давление пара в барабане котла необходимо принимать в соответствии с давлением пара в общезаводской сети с тем, чтобы выводить избыток пара в сеть и избегать неэкономичного дросселирования при выводе его в сеть низкого давления.

Котлы-утилизаторы газотрубного типа конструктивно напоминают теплообменники «труба в трубе». Дымовые газы пропускаются через внутреннюю трубу, а водяной пар вырабатывается в межтрубном пространстве. Несколько таких устройств располагается параллельно.

Котлы-утилизаторы пакетно-конвективного типа имеют более сложную конструкцию. Принципиальная схема работы КУ этого типа приведена на рис. 5.4.

Здесь используется естественная циркуляция воды и представлена наиболее полная конфигурация КУ с экономайзером и пароперегревателем.

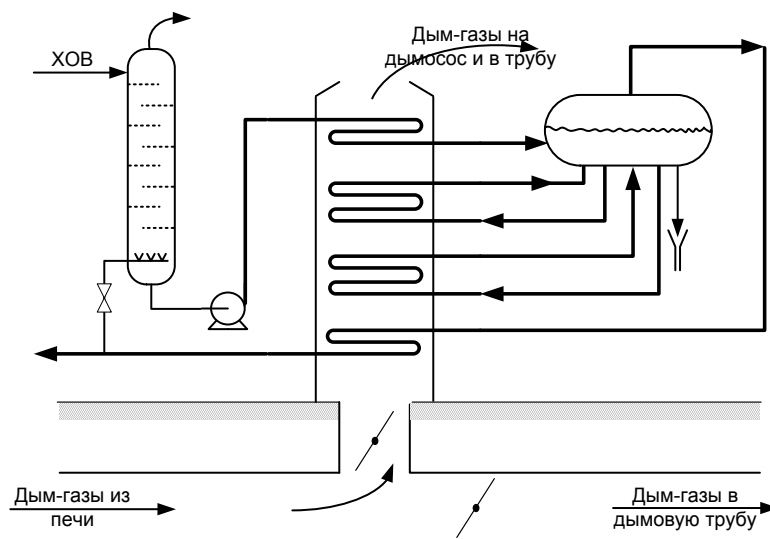


Рис. 5.4. Принципиальная схема работы котла-утилизатора пакетно-конвективного типа

Химочищенная вода (ХОВ) поступает в колонну-деаэратор для удаления растворенных в ней газов (главным образом кислорода и диоксида углерода). Вода стекает по тарелкам вниз, а навстречу ей противотоком пропускается небольшое количество водяного пара. Вода нагревается паром до 97 – 99 °С и за счет снижения растворимости газов с повышением температуры основная их часть выделяется и отводится сверху деаэратора в атмосферу. Пар, отдавая свое тепло воде, конденсируется. Деаэрированная вода снизу колонны забирается насосом и им нагнетается необходимое давление. Вода пропускается через змеевик экономайзера, в котором подогрывается почти до температуры кипения воды при заданном давлении, и поступает в барабан (паросепаратор). Вода в паросепараторе имеет температуру, равную температуре кипения воды при заданном давлении. Через змеевики выработки пара вода циркулирует за счет разности плотностей (естественная циркуляция). В этих змеевиках часть воды испаряется, и парожидкостная смесь возвращается в барабан. Насыщенный водяной пар отделяется от жидкой фазы и отводится сверху барабана в змеевик пароперегревателя. В пароперегревателе насыщенный пар перегревается до нужной температуры и отводится потребителю. Часть полученного пара используется для деаэрации питательной воды.

Надежность и экономичность работы КУ в значительной степени зависит от правильной организации водного режима. При неправильной эксплуатации интенсивно образуется накипь, протекает коррозия поверхностей нагрева, происходит загрязнение пара.

Накипь – это плотные отложения, образующиеся при нагреве и испарении воды. Вода содержит гидрокарбонаты, сульфаты и другие соли кальция и магния (соли жесткости), которые при нагревании преобразуются в бикарбонаты и выпадают в осадок. Накипь, имеющая на несколько порядков меньшую, чем металл, теплопроводность, приводит к снижению коэффициента теплопередачи. За счет этого снижается мощность теплового потока через поверхность теплообмена и, естественно, снижается эффективность работы КУ (уменьшается количество вырабатываемого пара). Температура отводимых из КУ дымовых газов возрастает. Кроме того, происходит перегрев змеевиков и их повреждение вследствие снижения несущей способности стали.

Для предупреждения образования накипи в качестве питательной воды используют предварительно химочищенную воду (можно брать на ТЭС). Помимо этого производится непрерывная и периодическая продувка системы (удаление части воды). Продувка предупреждает рост концентрации солей в системе (вода постоянно испаряется, а содержащиеся в ней соли – нет, поэтому концентрация солей растет). Непрерывная продувка котла составляет обычно 3 – 5 % и зависит от качества питательной воды (не должна превышать 10 %, так как с продувкой связана потеря тепла). При эксплуатации КУ высокого давления, работающих с принудительной циркуляцией воды, дополнительно применяют внутрикотловое фосфатирование. При этом катионы кальция и магния, входящие в состав образующих накипь сульфатов, связываются с фосфатными анионами, образуя соединения малорастворимые в воде и выпадающие в толще водяного объема котла, в виде легко удаляемого при продувке шлама.

Растворенные в питательной воде кислород и углекислый газ вызывают коррозию внутренних стенок котла, причем скорость коррозии возрастает с повышением давления и температуры. Для удаления газов из воды применяют термическую деаэрацию. Также мерой защиты против коррозии является поддержание такой скорости в трубах, при которой пузырьки воздуха не могут удерживаться на их поверхности (выше 0,3 м/с).

В связи с повышением гидравлического сопротивления газового тракта и снижением силы естественной тяги возникает необходимость установки дымососа (искусственная тяга). При этом температура дымовых газов не должна превышать 250 °С во избежание разрушения этого аппарата. Но чем ниже температура отводимых дымовых газов, тем более мощный необходимо иметь дымосос (растет потребление электроэнергии).

Срок окупаемости КУ обычно не превышает одного года.

Воздухоподогреватели. Используются для подогрева воздуха, подаваемого в печь на сжигание топлива. Подогрев воздуха позволяет снизить расход топлива в печь (КПД повышается на 10 – 15 %).

Температура воздуха после воздухоподогревателя может достигать 300 – 350 °С. Это способствует улучшению процесса горения, повышению полноты сгорания топлива, что является очень важным преимуществом при использовании высоковязких жидких топлив.

Также преимуществами воздухоподогревателей по сравнению с КУ является простота их конструкции, безопасность эксплуатации, отсутствие необходимости устанавливать дополнительное оборудование (деаэраторы, насосы, теплообменники и т. д.). Однако воздухоподогреватели при действующем соотношении цен на топливо и на водяной пар оказываются менее экономичными, чем КУ (цена на пар у нас очень высокая – в 6 раз выше за 1 ГДж). Поэтому выбрать способ утилизации тепла дымовых газов нужно, исходя из конкретной ситуации на данной установке, предприятии и т. д.

Применяются воздухоподогреватели двух типов: 1) **рекуперативные** (передача тепла через стенку); 2) **регенеративные** (аккумулирование тепла).

5.6. Утилизация тепла вентиляционных выбросов

На отопление и вентиляцию производственных и коммунально-бытовых зданий и сооружений расходуется большое количество теплоты. Для отдельных отраслей промышленности (в основном легкая промышленность) эти расходы достигают 70 – 80 % и более от общей потребности в тепловой энергии. На большинстве предприятий и организаций теплота удаляемого воздуха от систем вентиляции и кондиционирования не используется.

Вообще, вентиляция используется очень широко. Системы вентиляции сооружаются в квартирах, общественных заведениях (школах, больницах, спортклубах, бассейнах, ресторанах), производственных помещениях и т. д. Для различных целей могут применяться различные типы вентиляционных систем. Обычно, если объем воздуха, который должен заменяться в помещении в единицу времени ($\text{м}^3/\text{ч}$), невелик, то применяется естественная вентиляция. Такие системы реализованы в каждой квартире и большинстве общественных учреждений и организаций. При этом используется явление конвекции – нагретый воздух (имеет пониженную плотность) уходит через вентиляционные отверстия и отводится в атмосферу, а на его место, через неплотности в окнах, дверях и т. д., подсасывается свежий холодный (более высокой плотности) воздух с улицы. При этом неизбежны потери тепла, так как на подогрев поступающего в помещение

холодного воздуха необходим дополнительный расход теплоносителя. Поэтому применение даже самых современных теплоизоляционных конструкций и материалов при строительстве не может полностью устранить тепловые потери. В наших квартирах 25 – 30 % тепловых потерь связано именно с работой вентиляции, во всех остальных случаях эта величина гораздо выше.

Системы принудительной (искусственной) вентиляции применяются при необходимости интенсивного обмена больших объемов воздуха, что обычно связано с предупреждением роста концентрации опасных веществ (вредных, токсичных, пожаровзрывоопасных, имеющих неприятный запах) в помещении. Принудительная вентиляция реализуется в производственных помещениях, на складах, в хранилищах с/х продуктов и т. д.

Используются системы принудительной вентиляции трех типов:

- 1) приточная вентиляция;
- 2) вытяжная вентиляция;
- 3) комбинированные системы вентиляции.

Приточная система состоит из воздуходувки, нагнетающей свежий воздух в помещение, приточного воздуховода и системы равномерного распределения воздуха в объеме помещения. Избыточный объем воздуха при этом вытесняется через неплотности в окнах, дверях и т. д.

Вытяжная система состоит из воздуходувки, откачивающей воздух из помещения в атмосферу, вытяжного воздуховода и системы для равномерного отвода воздуха из объема помещения. Свежий воздух в этом случае подсасывается в помещение сквозь различные неплотности или специальные системы подвода.

Комбинированные системы представляют собой совмещенные приточно-вытяжные системы вентиляции. Используются, как правило, при необходимости очень интенсивного обмена воздуха в крупных помещениях; при этом потребление тепла на подогрев свежего воздуха максимально.

Применение систем естественной вентиляции и отдельных систем вытяжной и приточной вентиляции не позволяет использовать тепло отводимого воздуха для подогрева свежего воздуха, поступающего в помещение. При эксплуатации же комбинированных систем существует возможность утилизации тепла вентиляционных выбросов для частичного подогрева приточного воздуха и снижения потребления тепловой энергии. В зависимости от разности температур воздуха в помещении и на улице расход тепла на подогрев свежего воздуха может быть снижен на 40 – 60 %. Подогрев может осуществляться в регенеративных и рекуперативных теплообменниках. Первые предпочтительнее, так как имеют меньшие габариты,

металлоемкость и гидравлическое сопротивление, обладают большей эффективностью и продолжительным сроком службы (20 – 25 лет).

Воздуховоды подводятся к теплообменным аппаратам, и тепло передается напрямую от воздуха к воздуху через разделяющую стенку или аккумулирующую насадку. Но в некоторых случаях существует необходимость в разноте приточного и вытяжного воздуховодов на значительное расстояние. В таком случае может быть реализована схема теплообмена с промежуточным циркулирующим теплоносителем. Пример работы такой системы при температуре в помещении $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре окружающей среды $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ показан на рис. 5.5.

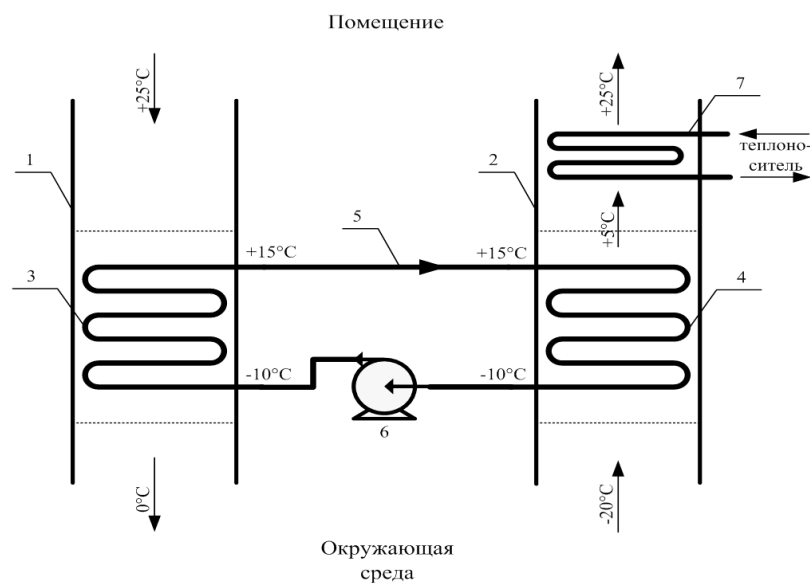


Рис. 5.5. Схема теплообмена с промежуточным циркулирующим теплоносителем:

1 – вытяжной воздуховод; 2 – приточный воздуховод; 3,4 – оребренные трубчатые змеевики; 5 – трубопроводы циркуляции промежуточного теплоносителя (в качестве промежуточного теплоносителя в таких системах обычно используются концентрированные водные растворы солей – рассолы); 6 – насос; 7 – змеевик для дополнительного подогрева свежего воздуха водяным паром или горячей водой

Система работает следующим образом. Теплый воздух ($+25\text{ }^{\circ}\text{C}$) из помещения выводится по вытяжному воздуховоду 1 через камеру, в которой установлен оребренный змеевик 3. Воздух омывает наружную поверхность змеевика и передает тепло холодному промежуточному теплоносителю (рассолу), протекающему внутри змеевика. Воздух охлаждается до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выбрасывается в атмосферу, а подогретый до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ рассол по трубопроводам циркуляции 5 поступает в камеру подогрева свежего воздуха на приточном воздуховоде 2. Здесь промежуточный теплоноситель отдает тепло свежему воздуху, подогревая его от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сам промежуточный теплоноси-

тель при этом охлаждается от + 15 °С до – 10 °С. Охлажденный рассол поступает на прием насоса и снова возвращается в систему на рециркуляцию.

Свежий приточный воздух, подогретый до + 5 °С, может сразу вводиться в помещение и подогреваться до требуемой температуры (+ 25 °С) с помощью обычных радиаторов отопления, а может подогреваться непосредственно в вентиляционной системе. Для этого на приточном воздуховоде устанавливается дополнительная секция, в которой размещается оребренный змеевик. Внутри трубок протекает горячий теплоноситель (теплофикационная вода или водяной пар), а воздух омывает наружную поверхность змеевика и нагревается до + 25 °С, после этого теплый свежий воздух распределяется в объеме помещения.

Применение такого способа обладает рядом преимуществ. Во-первых, вследствие высокой скорости воздуха в секции подогрева, значительно (в несколько раз) повышается коэффициент теплопередачи по сравнению с обычными радиаторами отопления. Это приводит к существенному снижению общей металлоемкости системы отопления – снижению капитальных затрат. Во-вторых, помещение не загромождается радиаторами отопления. В-третьих, достигается равномерное распределение температур воздуха в объеме помещения. А при использовании радиаторов отопления в крупных помещениях сложно обеспечить равномерный прогрев воздуха. В локальных областях воздух может иметь температуру существенно выше или ниже нормы.

Единственный недостаток – несколько повышается гидравлическое сопротивление воздушного тракта и расход электроэнергии на привод приточной воздуховодки. Но преимущества настолько значительны и очевидны, что предварительный подогрев воздуха непосредственно в вентиляционной системе можно рекомендовать в подавляющем большинстве случаев.

Для того, чтобы обеспечить возможность утилизации тепла в случае использования систем приточной или вытяжной систем вентиляции в отдельности, необходимо организовать централизованный соответственно отвод или подвод воздуха через специально смонтированные воздуховоды. При этом необходимо устранить все щели и неплотности, чтобы исключить неуправляемый выдув, или подсос воздуха.

Системы теплообмена между удаляемым из помещения воздухом и свежим можно использовать не только для подогрева приточного воздуха в холодное время года, но и для охлаждения его летом, если помещение (офис) оборудовано кондиционерами. Охлаждение до температур ниже температуры окружающей среды всегда связано с высокими затратами энергии (электроэнергии). Поэтому снизить расход электроэнергии на поддержание комфорт-

ной температуры в помещении в жаркое время года можно предварительным охлаждением свежего воздуха, отводимым холодным воздухом.

Тепловые ВЭР. К тепловым ВЭР относится физическая теплота отходящих газов котельных установок и промышленных печей, основной или промежуточной продукции, других отходов основного производства, а также теплота рабочих тел, пара и горячей воды, отработавших в технологических и энергетических агрегатах. Для утилизации тепловых ВЭР используют теплообменники, котлы-утилизаторы или тепловые агенты. Рекуперация теплоты отработанных технологических потоков в теплообменниках может проходить через разделяющую их поверхность или при непосредственном контакте. Тепловые ВЭР могут поступать в виде концентрированных потоков теплоты или в виде теплоты, рассеиваемой в окружающую среду. В промышленности концентрированные потоки составляют 41 %, а рассеиваемая теплота – 59 %. Концентрированные потоки включают теплоту уходящих дымовых газов печей и котлов, сточных вод технологических установок и жилищно-коммунального сектора. Тепловые ВЭР делятся на высокотемпературные (с температурой носителя выше 500 °С), среднетемпературные (при температурах от 150 до 500 °С) и низкотемпературные (при температурах ниже 150 °С). При использовании установок, систем, аппаратов небольшой мощности потоки теплоты, отводимые от них, составляют небольшую величину и рассредоточены в пространстве, что затрудняет их утилизацию из-за низкой рентабельности.

Рассмотрим некоторые способы и устройства для утилизации тепловых ВЭР. Применение энергетических отходов для внутреннего использования рассматривалось ранее при изучении работы парового котла, где за счет рекуперации теплоты отходящих газов проводится подогрев питательной воды в экономайзере и окислителя воздуха в воздухоподогревателе. Имеются и другие возможности внутреннего использования энергетических отходов. Теплота уходящих дымовых газов используется как для внутреннего, так и для внешнего потребления. При внутреннем потреблении энергоотходов в печах и котлах осуществляется подогрев воздуха, подаваемого на горение. В котлах дополнительно может подогреваться питательная вода. При внешнем использовании нагревают теплоноситель или сырье. Нагрев рабочей среды проводится в регенеративных, рекуперативных или смесительных (контактных) аппаратах. Регенеративные аппараты по принципу действия являются периодическими. Через неподвижные насадки потоки дымовых газов и нагреваемой среды проходят попеременно путем переключения направления их течения (рис. 5.6). Реализуемый уровень температур в регенераторах

с керамическими насадками составляет $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Недостатком этих аппаратов является снижение за цикл температуры нагреваемой среды на $10 - 15\%$. Они пригодны для маловязких и чистых сред.

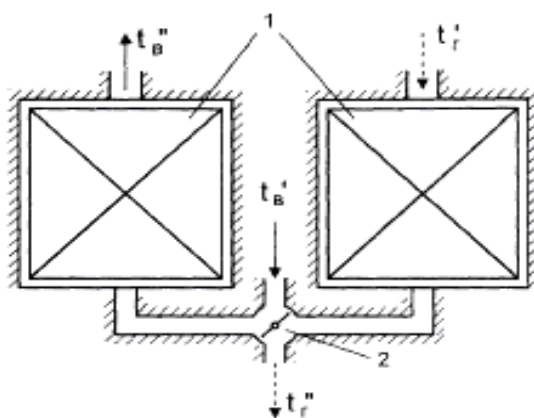


Рис. 5.6. Схема регенератора с неподвижной насадкой – 1;
2 – переключатель направления течения дымовых газов

Рекуперативные подогреватели выполняются из металла, поэтому уровень рабочих температур снижается до $700 - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ по сравнению с регенераторами. Преимущество их заключается в постоянстве параметров рабочих сред, что обеспечивает стабильность технологического процесса. Рассмотрим простейший рекуператор (рис. 5.7, а). Передача теплоты от дымовых газов к нагреваемой среде осуществляется через разделяющую поверхность, которая может иметь различное конструктивное исполнение. В нашем случае это кольцевой канал, который связан с раздающим и сборным коллекторами.

При утилизации низкотемпературных дымовых газов целесообразно использовать контактный теплообменник с активной оросительной насадкой для повышения интенсивности теплообмена (рис. 5.7, б). С помощью данного устройства можно получать горячую воду $50 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет проводить сжигание топлива с учетом высшей теплоты сгорания и тем самым добиваться дополнительного энергосберегающего эффекта.

Достоинством аппарата являются небольшие габариты и масса, достигаемые за счет интенсификации теплообмена при орошении пучка труб промежуточным теплоносителем в жидкой фазе, подогретым непосредственным соприкосновением с дымовыми газами. Это также дает косвенный энергосберегающий эффект за счет экономии металла. Кроме того, в данном аппарате происходит очистка дымовых газов. Энергетический эффект от утилизации теплоты дополняется экологическим эффектом уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду.

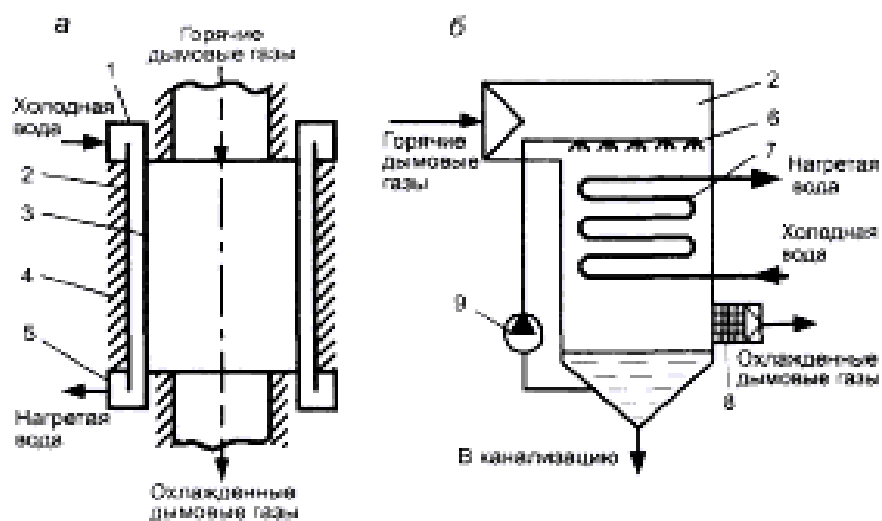


Рис. 5.7. Радиационный рекуператор кольцевой (а) и контактный теплообменник с активной насадкой (б): 1 – раздающий коллектор, 2 – корпус, 3 – поверхность нагрева, 4 – тепловая изоляция, 5 – коллектор, 6 – система орошения, 7 – активная насадка, 8 – сепарационное устройство, 9 – насос системы орошения

При внешнем использовании теплоты отходящих газов промышленных печей применяются паровые или водогрейные котлы-утилизаторы. В отличие от энергетических котлов их поверхности нагрева располагаются не в топке, а по тракту отходящих газов. Конструкция котла-утилизатора включает: экономайзер, барабан-сепаратор, испаритель и пароперегреватель. Циркуляция воды через испаритель осуществляется с помощью насоса или естественной конвекцией (рис. 5.8). Принцип работы котлов-утилизаторов идентичен котлам котельных установок.

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

Примером может служить схема утилизации теплоты при производстве цементного клинкера (рис. 5.9).

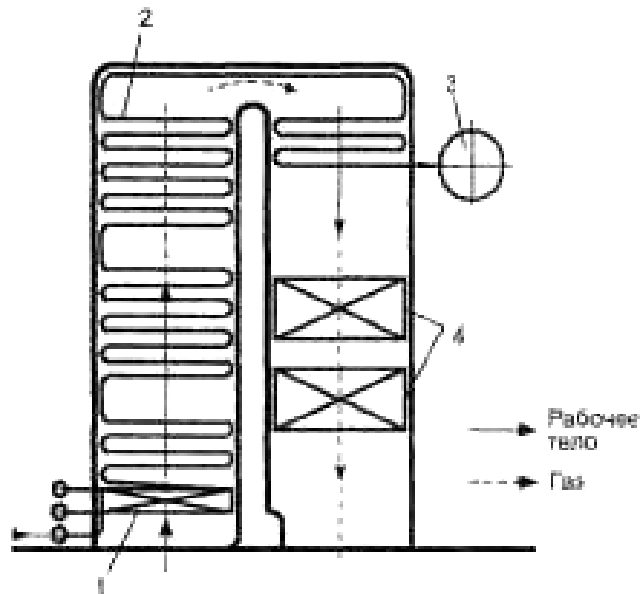


Рисунок 5.8. Схема котла утилизатора:
 1 – пароперегреватель, 2 – испарительные пакеты,
 3 – барабан – сепаратор, 4 – экономайзер

Холодный воздух с помощью вентилятора 5 проходит через охладитель клинкера 4, нагревается до $275 - 525\text{ }^{\circ}\text{C}$ и подается на горение в обжиговую печь 3. За счет этого достигается экономия топлива.

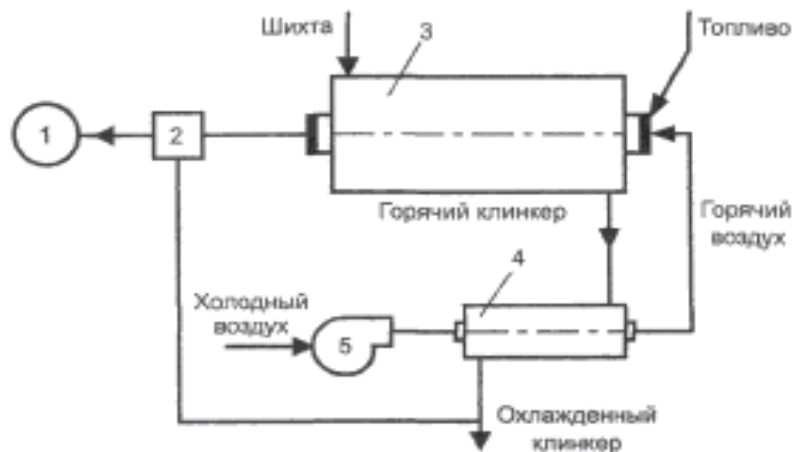


Рис. 5.9. Схема установки для утилизации
 теплоты при производстве клинкера

Уходящие дымовые газы проходят очистку в аппарате 2 и с помощью тягового устройства 1 удаляются в атмосферу. Пылевидные частицы клинкера смешиваются с готовой продукцией.

В химическом производстве готовой продукции могут образовываться агрессивные жидкости, например при производстве серной, фосфорной и других кислот. Дальнейшее использование теплоты от этих сред с помощью промежуточного теплоносителя позволяет утилизировать сбросную теплоту. В нижнем ярусе теплообменника-утилизатора (рис. 5.10) располагается трубчатая поверхность теплообмена с агрессивной жидкостью, от которой теплота передается теплоносителю с низкой температурой кипения. Такими теплоносителями могут быть холодильные агенты или вода. Промежуточный теплоноситель испаряется, и пар, омывая верхнюю поверхность теплообмена, конденсируется, отдавая теплоту конечному теплоносителю – воде. При такой схеме утилизации теплоты исключается попадание вредных веществ в конечный теплоноситель.

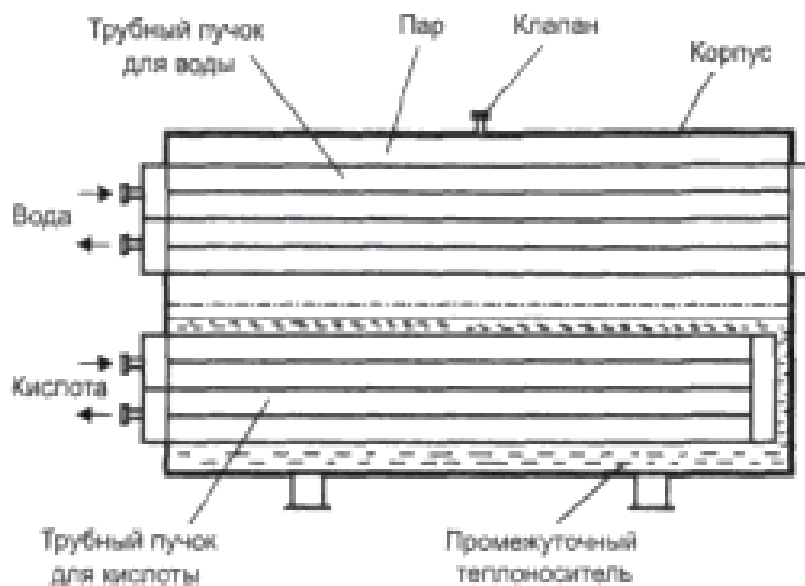


Рис. 5.10. Теплообменник с промежуточным теплоносителем

С целью соблюдения санитарно-гигиенических норм на всех производствах функционируют системы приточно-вытяжной вентиляции, что приводит к дополнительным потерям энергии. Потери можно уменьшить, регенерируя теплоту удаляемого воздуха (рис. 5.12). В отличие от конструкции ранее рассмотренного высокотемпературного регенератора с неподвижной насадкой в данном аппарате используются или подвижная насадка (рис. 5.11, б), или тепловые трубы (рис. 5.11, в).

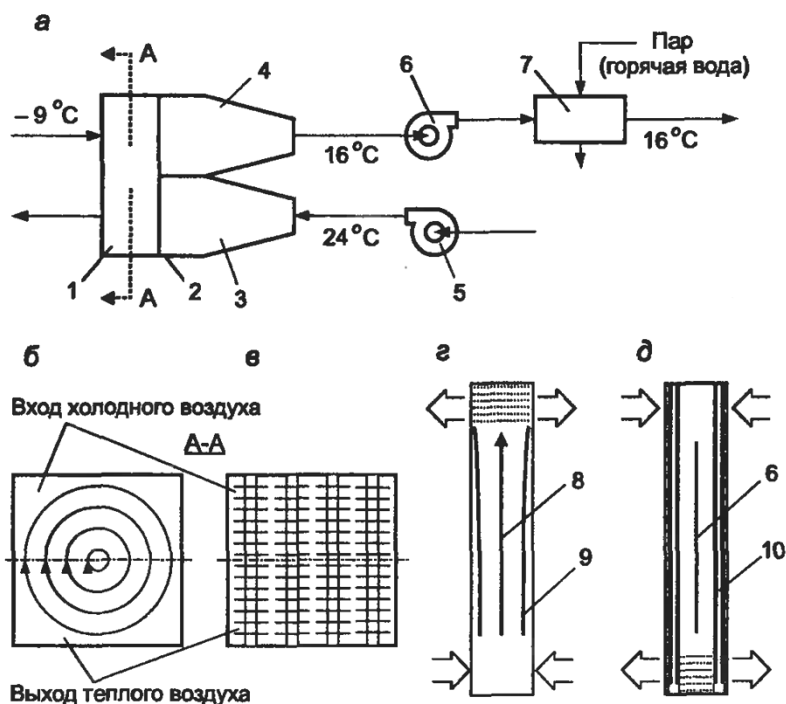


Рис. 5.11. Схема утилизатора теплоты вытяжного воздуха (а) с регенеративной вращающейся насадкой (б) и тепловыми трубами (в) и схемы термосифона (г) и тепловой трубы (д): 1 – вращающаяся теплоаккумулирующая насадка; 2 – корпус; 3 – вытяжной воздухопровод; 4 – приточный воздухопровод; 5 – вытяжной вентилятор; 6 – приточный вентилятор; 7 – подогреватель воздуха; 8 – пар; 9 – пленка конденсата; 10 – капилляр

В первом случае теплый удаляемый воздух, омывая вращающуюся насадку, отдает ей теплоту, а холодный отбирает теплоту, нагревается и поступает в помещение, что позволяет снизить потребление энергии калорифером. Во втором случае тепловые трубы также размещаются во входном устройстве воздухопроводов. При этом в нижней части располагаются испарительные участки тепловых труб, а в верхней – участки конденсации. Прототипом тепловой трубы является термосифон, представляющий собой вертикальный или наклонный цилиндр с рабочей жидкостью, которая сосредоточена в нижней части (см. рис. 5.11, г).

Термосифон работоспособен в гравитационном поле. С его помощью можно передавать теплоту от одной среды к другой. В нашем случае от нагретого вытяжного воздуха теплота подводится к нижней части термосифона, где жидкость в процессе кипения испаряется, а пар, аккумулировав теплоту, поднимается вверх. Верхняя часть термосифона омывается приточным воздухом. Пар конденсируется, выделяя теплоту, которая передается холодному воздуху. Конденсат под действием силы тяжести стекает по стенке цилиндра в виде жидкой пленки. Плотность передаваемых пото-

ков с помощью термосифона в несколько раз выше, чем через обычную стенку рекуперативного теплообменника, из-за роста эффективной теплопроводности. Недостатком термосифона является то, что его ориентация должна быть близкой к вертикали и тепловой поток имеет одно направление – снизу вверх. Этот недостаток преодолен в тепловых трубах.

Тепловые трубы дополнительно содержат смачиваемые капилляры (см. рис. 6.11, д), в которых жидкость независимо от их ориентации перемещается за счет силы поверхностного натяжения. В остальном принцип работы тепловых труб подобен принципу работы термосифона, с той лишь разницей, что они могут иметь произвольную ориентацию. Поэтому сфера использования тепловых труб весьма широка как в земных условиях, так и в невесомости. Потоки теплоты, передаваемые тепловой трубой, выше на два-три порядка по сравнению с таким теплопроводным материалом, как медь. Практическая реализация больших потоков зависит от интенсивности внешнего теплообмена в средах с подводом и отводом теплоты. В нашем случае для интенсификации теплообмена со стороны воздуха тепловые трубы снабжены оребрением.

Кроме рассмотренных способов утилизации теплоты вентиляционных выбросов широко используются и рекуперативные теплообменники. В утилизационных теплообменниках степень регенерации теплоты вытяжного воздуха может достигать 70 %, что позволяет почти вдвое сократить расходы топлива на отопление.

При использовании теплообменников необходимо уделять особое внимание состоянию их поверхности. Образование отложений приводит к росту термического сопротивления, и эффективность утилизации тепловых ВЭР ухудшается. Кроме того, из-за отложений возрастают потери давления, следовательно, мощность на прокачку рабочего вещества. Этот недостаток преодолевается периодической чисткой поверхностей теплообмена.

ВЭР избыточного давления. ВЭР избыточного давления могут быть использованы для производства механической работы, теплоты или холода. В первом случае для преобразования используется турбина, сопряженная на одном валу с электрическим генератором. Во втором случае энергия избыточного давления может быть также преобразована в теплоту или холод в соответствии с эффектом Ранка.

Для примера рассмотрим использование ВЭР избыточного давления в системах распределения природного газа. В магистральных трубопроводах газ транспортируется под давлением 4,5 – 6,5 МПа. Затем на газораспределительных станциях (ГРС) давление снижается до 1,2 МПа. У конечных потребителей на газоредуцирующих пунктах (ГРП) давление уменьшается до более

низких значений, соответствующих технологическим требованиям. В обоих случаях снижение давления происходит без совершения работы, т. е. имеют место непроизводительные потери энергии. Эту энергию можно использовать для производства электричества, установив газотурбинную расширительную станцию (ГТРС), а ГРП использовать как резервную систему. Схема ГТРС, которая может быть использована в системах газоснабжения ТЭЦ, дана на рис. 5.12. Для предотвращения выпадения конденсата на лопатках турбины газ перед подачей в турбину подогревается.



Рис. 5.12. Утилизация энергии избыточного давления в системе распределения природного газа: 1 – клапаны; 2 – подогреватель; 3 – турбина; 4 – электрогенератор

Комбинирование энергетических и технологических процессов.

В настоящее время – это одно из направлений повышения эффективности использования топлива как источника энергии и сырья. Например, энерготехнологическое комбинирование при использовании природного газа позволяет подвергать его глубокой переработке с получением ацетилена и этилена, теплоты и электрической энергии (рис. 5.13).

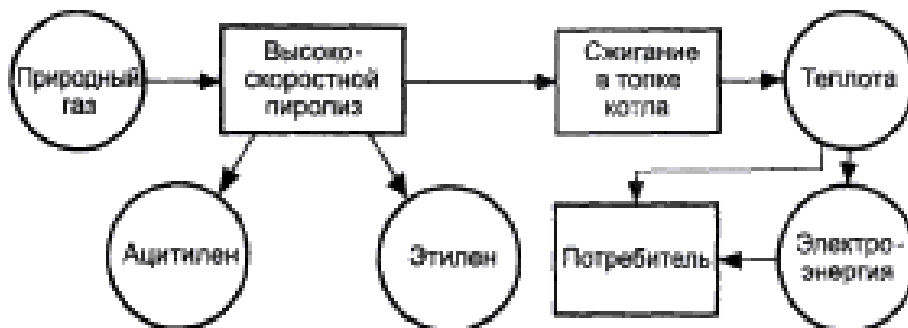


Рис. 5.13. Схема энерготехнологических процессов при использовании природного газа

Другим примером энерготехнологии является повышение эффективности использования топлива в промышленной энергетике. Экономии энергии можно достичь путем термохимической регенерации теплоты отходящих газов промышленных печей при конверсии природного газа в среде своих продуктов сгорания (рис. 5.14).

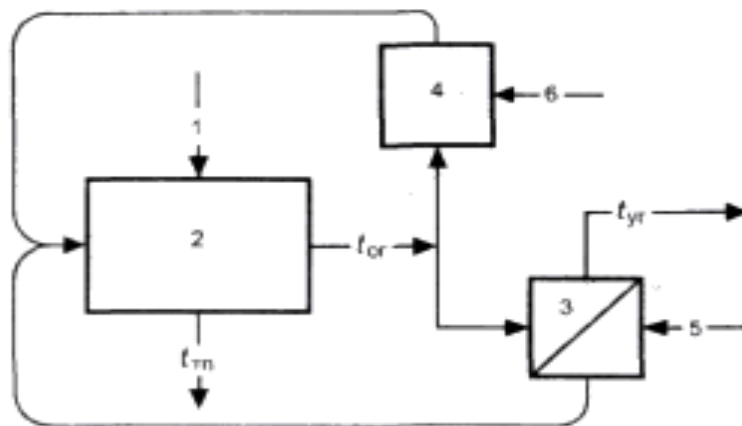


Рис. 5.14. Химическая генерация теплоты при конверсии топлива в среде продуктов сгорания: 1 – технологическое сырье; 2 – точка промышленной печи; 3 – воздухоподогреватель; 4 – реактор для конверсии топлива отходящими газами; 5 – холодный воздух; 6 – топливно-природный газ

В печи 2 после сжигания топлива часть теплоты передается технологическому продукту, который выходит с температурой. Другая часть теплоты удаляется с отходящими газами при температуре $t_{ог}$ и представляет собой энергетические отходы. Часть теплоты отходящих газов расходуется в воздухоподогревателе 3 на предварительный подогрев атмосферного воздуха, подаваемого на горение. За счет этого достигается уменьшение потребления топлива. При этом температура уходящих газов, поступающих в атмосферу, понижается. Вторая часть отработанной теплоты расходуется в реакторе на эндотермическое разложение природного газа (метана). Затем выделяется в топке при сжигании конвертированного газа, что также ведет к уменьшению потребления топлива.

Рассмотренные технические методы утилизации горючих, тепловых и избыточного давления вторичных энергетических ресурсов не исчерпывают все случаи, встречающиеся на практике. Однако они отражают общие подходы и принципы использования этих ресурсов.

Во-первых, прежде чем использовать ВЭР, необходимо знать, какими их видами мы располагаем.

Во-вторых, необходимо обладать информацией об объемах выхода ВЭР и о возможной экономии топлива за счет их использования.

В-третьих, реальные технические утилизационные устройства могут отличаться лишь конструкцией и некоторыми особенностями их работы.

Контрольные вопросы

1. На какие виды разделяются общие энергетические отходы?
2. Что является источником вторичных энергоресурсов?
3. Что называется агрегатом-источником или установкой-источником ВЭР.
4. Как классифицируется энергетический потенциал отходов и продукции, могущих стать источником вторичных энергоресурсов?
5. По каким направлениям могут быть применены ВЭР?
6. В чем рассчитывают удельный выход ВЭР?
7. Формула удельного выхода ВЭР избыточного давления.
8. Почему для оценки реального потенциала рассчитывают возможную выработку энергии за счет ВЭР?
9. По какой формуле можно определить теплоту, выработанную в утилизационной обстановке?
10. Как определяется степень утилизации вторичных энергоресурсов на предприятии?
11. Что относится к горючим ВЭР?
12. Приведите примеры источников горючих ВЭР?
13. Каким образом происходит утилизация твердых древесных отходов, лигнина, отходов сельскохозяйственного производства и т. п.?
14. Гранулометрический состав древесных отходов.
15. От чего зависят способы сжигания древесных отходов?
16. Опишите процесс сжигания древесных отходов.
17. Сделайте вывод о значении горючих ВЭР.
18. Для чего служат теплообменные аппараты?
19. Как классифицируются теплообменные аппараты по принципу работы?
20. В чем состоит принцип работы рекуперативных теплообменников, регенеративных и контактных?
21. Почему утилизация тепла уходящих дымовых газов технологических печей имеет исключительно большое значение?

22. Какие принципы рационального использования теплоты дымовых газов существуют?
23. Для чего используют котлы-утилизаторы и каков принцип работы?
24. На какие два типа котлов подразделяются выносные котлы-утилизаторы и в чем их различие?
25. От чего зависит надежность и экономичность работы КУ?
26. Что такое накипь и к чему она приводит?
27. С какой целью используют воздухоподогреватели?
28. Каково значение вентиляции?
29. Почему применение даже самых современных теплоизоляционных конструкций и материалов при строительстве не может полностью устранить тепловые потери?
30. Для чего применяются системы принудительной (искусственной) вентиляции?
31. Какое назначение у каждого типа систем принудительной вентиляции?
32. Объясните принцип работы комбинированных систем.
33. Каков единственный недостаток комбинированных систем?
34. Что относится к тепловым ВЭР?
35. Расскажите о способах и устройствах для утилизации тепловых ВЭР.
36. В чем значение рекуперативных подогревателей?
37. В чем состоит принцип работы теплообменника с промежуточным теплоносителем?
38. Для чего используют ВЭР избыточного давления?
39. Приведите пример энерготехнологии.
40. Что нужно знать, прежде чем использовать ВЭР?

РАЗДЕЛ № 6. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Места наибольшего сосредоточения энергоресурсов обычно не совпадают с местами их потребления. Так, более половины мировых запасов нефти сосредоточено в районах Среднего и Ближнего Востока, а удельное энергопотребление в этих странах в 4 раза ниже среднемирового. Несовпадение мест сосредоточения и потребления энергоресурсов вызывает необходимость в транспортировке энергии.

Распределение топливных ресурсов потребителям для выработки электроэнергии на электростанциях, получения горячей воды и пара в котельных установках, непосредственного использования в промышленности и на транспорте происходит по довольно сложной схеме с возможной взаимозаменяемостью. Это распределение также сопровождается потерями энергии.

В связи с этим возникает задача оптимизации системы транспорта и распределения энергии как по элементной, территориальной структуре, так и по видам энергоносителей.

Энергия может передаваться в различной форме. Например, можно транспортировать нефть и уголь от месторождений до крупных промышленных центров и городов, а затем сжигать их на электростанциях, получая электрическую и тепловую энергию. Возможен и другой вариант, когда электростанция сооружается вблизи месторождений топлива, а электрическая энергия передается по линиям электропередачи к удаленным промышленным предприятиям и городам. Целесообразность передачи на расстояние тех или иных носителей энергии определяется их удельной энергоемкостью и эффективностью различных методов транспорта.

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

6.1. Транспорт нефти и нефтепродуктов

В настоящее время наиболее выгодным видом транспорта энергии является перекачка нефти и нефтепродуктов по трубопроводам. Близка к ней по экономичности перевозка нефти и продуктов ее переработки на больших танкерах по морям, океанам. Именно вследствие малых затрат на транспортировку мировые цены на нефть мало зависят от места ее потребления. Как и все жидкости, нефть почти несжимаема, и поэтому расход энергии на ее перекачку определяется только необходимостью преодоления сил трения в трубопроводе, т. е. является относительно малым. Протяженные нефте- и продуктопроводы требуют затрат большого количества труб. Поэтому правильное определение их пропускной способности может дать существенный эффект экономии. Пропускная способность сильно зависит от соотношения затрат металла на трубы и энергии, идущей на перекачку. Важно объективно соотнести эти затраты.

6.2. Транспорт газа

Перекачка по трубопроводам природного газа стоит уже значительно дороже. Так как газ сжимаем, то вместо употребляемых на нефтепроводах насосов здесь приходится использовать компрессоры. Представляет интерес перекачка газа в сжиженном состоянии. Расход энергии на перекачку резко снижается, а диаметр трубопровода при том же количестве транспортируемого газа может быть выбран гораздо меньший. Наряду с природным газом используются и некоторые другие источники газового топлива: попутный газ нефтедобычи, коксовый и доменный газы, получаемые как побочный продукт производства кокса и чугуна, и пр. Ведутся работы по так называемой энерготехнологической переработке твердых топлив, в ряде схем которой наряду с другими продуктами получается искусственный газ.

6.3. Транспорт угля на дальние расстояния

Для этой цели используется только железнодорожный и водный транспорт. Проявляет интерес транспорт угля по трубопроводам в контейнерах и в виде пульпы, т. е. примерно 50 %-ной смеси измельченного угля с водой.

Основными энергоносителями на любом современном предприятии являются электрическая и тепловая энергия.

6.4. Передача электрической энергии

Более универсальным средством транспорта энергии является электронный – электропередачи, которые включают собственно линию электропередачи (ЛЭП), повысительную и понизительную электрические подстанции.

Кроме передачи энергии они осуществляют связи между электростанциями и энергетическими системами для их параллельной работы. Такие межсистемные связи позволяют повысить надежность режимов энергосистем, сократить необходимый резерв мощности, облегчить работу энергосистемы в периоды максимальной и минимальной нагрузок.

Линии электропередачи могут быть переменного или постоянного тока, воздушными или кабельными, различного электрического напряжения и конструктивного исполнения. Современные электропередачи сверх и ультравысокого напряжения представляют собой «электронные мосты» длиной в тысячи километров, соединяющие мощные электростанции, где концентрированно производится электроэнергия, с крупными центрами энергопотребления.

При централизованной системе снабжения электроэнергия поступает из энергосистемы по воздушным или кабельным линиям электропередачи на головную подстанцию предприятия и распределяется по заводским электрическим сетям между конечными потребителями. При этом происходит трансформация электрической энергии с напряжения 110 кВ и выше на входе головной подстанции до 6 – 10 кВ в распределительных сетях на территории завода и до 0,4 – 0,6 кВ – в распределительных пунктах.

Однако существующие высоковольтные линии практически исчерпали заложенные в них возможности. По пути к потребителю теряется до 15 – 25 % энергии. Одно из наиболее интересных направлений в этой области – применение эффекта сверхпроводимости (способность металлов обладать нулевым сопротивлением при температурах, близких к абсолютному нулю).

Линии электропередач напряжением 500 кВ способны передавать мощность до 1 МВт. Сейчас уже нужно иметь линии мощностью до 5 МВт. И для этого напряжение требуется повысить до 3,5 МВ (ширина зоны отчуждения возрастает с 300 м до нескольких километров); кабельные сверхпроводящие системы – снижение потерь электроэнергии, физиологической опасности и площади отчуждаемых земель.

Использование сверхпроводимости равноценно введению дополнительных мощностей электростанций. По прогнозам, сверхпроводящие линии электропередач могут уже в обозримом будущем найти применение в крупных городах, однако для этого еще предстоит решить ряд сложных научно-технических проблем.

6.5. Транспорт и распределение тепловой энергии

На цели отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в РБ расходуется 40 % от общего потребления топлива. Потенциал энергосбережения в системах теплоснабжения республики, по оценкам отечественных и зарубежных специалистов, составляет около 50 %. Таким образом, за счет проведения энергосберегающих мероприятий в системах теплоснабжения можно снизить на 20 % общее количество потребляемого республикой топлива (снижение объема импорта на 300 – 400 млн. \$). Именно поэтому совершенствование теплоснабжения является одной из приоритетных задач действующей Государственной программы «Энергосбережение».

В Республике Беларусь, как и во всех странах СНГ, в силу проводившейся технической политики применяются, в основном, системы централизованного теплоснабжения, находящиеся сегодня в крайне неудовлетворительном состоянии. Часто происходят аварии, что приводит к перерывам теплоснабжения, значительному материальному ущербу, опасности для жизни людей из-за провалов грунта в теплосетях, взрывов котельного оборудования и т. д. Это объясняется следующими причинами:

- эксплуатацией элементов систем теплоснабжения в течение 25 – 35 и более лет, что намного превышает их расчетные сроки службы;
- низким качеством конструкций, строительства, монтажа и эксплуатации;
- отсутствием профилактических плановых ремонтов и реконструкции из-за нехватки денежных и материальных средств.

Для реализации имеющегося потенциала энергосбережения необходима одновременная согласованная оптимизация теплопотребления во всех элементах системы. К приоритетным направлениям оптимизации относятся:

- реконструкция и модернизация систем централизованного теплоснабжения;
- децентрализация теплоснабжения;
- регулирование режимов теплопотребления во всех элементах системы теплоснабжения.

Реконструкция и модернизация систем централизованного теплоснабжения требует существенных инвестиций и трудозатрат и должна проводиться в отношении источников тепла путем замены устаревшего оборудования, переоборудования котельных в мини-ТЭЦ, применения газотурбинных и парогазовых установок и т. д.

Централизованное теплоснабжение требует разветвленных сетей трубопроводов, требующих значительных затрат на текущее обслуживание, профилактику предупреждения аварий, замену устаревших, изношенных участков. В настоящее время внедряются методы обследования и оперативного контроля состояния тепловых сетей путем дистанционного зондирования современными тепловизионными системами и диагностической аппаратурой, включая тепловую аэрофотосъемку, создаются базы данных для определения мест повышенных теплопотерь, проведения планово-ремонтных работ. Проблема потерь тепла в тепловых сетях может быть решена только с помощью эффективной теплоизоляции теплопроводов. Как показали исследования, эффект от вложения финансовых средств в системы регулирования теплоисточника, транспорта и распределения потребителям составляет соответственно 30 %, 50 % и 20 %. То есть наиболее выгодным направлением модернизации теплосистемы в настоящее время является вложение средств в теплоизоляцию теплосетей. На смену традиционным канальным теплопроводам, срок службы которых составляет 15 – 20 лет, а иногда не превышает пяти при расчетных 25, а тепловые потери достигают 50 %, должны прийти бесканальные теплогидропредизолированные (ПИ) теплопроводы.

Подземные ПИ-теплопроводы являются механической конструкцией, состоящей из стальной трубы, полиуретановой изоляции и наружной полиэтиленовой трубы-оболочки, которые жестко связаны друг с другом и вместе с окружающим теплопровод грунтом образуют единую систему. Такие теплопроводы служат 20 – 30 лет и позволяют снизить потери тепла в 10 – 15 раз. Производство таких теплопроводов в настоящее время налаживается и в нашей республике.

Также прогрессивным решением является использование гибких ПИ-теплопроводов. На всем протяжении таких трубопроводов проходят специальные датчики, которые в случае нарушения целостности системы посылают сигнал на диспетчерский пульт. Это позволяет оперативно определять места повреждения с точностью до 1 м.

В качестве эксперимента в г. Хотимске предизолированными трубами были заменены практически все городские теплосети (около 400 км). Вскоре пришлось закрыть 3 из 4 существовавших в городе котельных. Производимого одной из них тепла стало хватать на весь город.

6.5.1 Децентрализация

Тепловая энергия поступает от теплоцентралей (ТЭЦ) энергосистемы в виде пара различного давления и горячей воды по теплосетям и под-

водится к потребителям по распределительным сетям предприятия. Подсоединение теплопотребителей к тепловой сети осуществляется через тепловые пункты, на которых производится преобразование вида теплоносителя или его параметров: давления и температуры. Тепловые пункты подразделяются на индивидуальные – ИТП для подсоединения систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения одного здания и центральные – ЦТП для подсоединения названных систем двух и более зданий.

Централизованное теплоснабжение, как правило, предполагает подключение к ЦТП через элеваторный узел трубопроводов систем отопления и систем горячего водоснабжения группы зданий, что практически не позволяет производить регулирование количества потребляемой тепловой энергии. Большие возможности в отношении регулирования, а также учета и контроля потребления обеспечивает вариант централизованного теплоснабжения жилых и общественных зданий с устройством для них индивидуальных тепловых пунктов с целью создания независимой системы подготовки горячей воды и подачи тепла на отопление.

Важнейшим направлением совершенствования теплоснабжения городов считается разумная степень его децентрализации, что означает строительство новых теплоисточников, приближенных к потребителю тепла (на газе, жидком топливе, электроэнергии), или переход на автономные источники теплоснабжения. Децентрализация теплоснабжения позволяет:

- уменьшить потери тепла до 40 % за счет полного отказа от наружных тепловых сетей или сокращения их протяженности;
- сократить до 15 % потери тепла за счет более полного соответствия режимов производства тепла и его потребления;
- сократить затраты на теплоснабжение в сравнении с затратами, необходимыми для строительства, обслуживания и ремонта новых тепловых сетей, ремонта действующих сетей и теплогенераторов;
- снизить потери энергии и аварийность в системах теплоснабжения (статистика свидетельствует, что 99 % аварий происходит в тепловых сетях, а не на ТЭЦ и в котельных);
- отказаться от строительства узлов учета и регулирования отпуска и потребления тепловой энергии.

В республике децентрализация теплоснабжения осуществляется путем перехода к автономным системам, использованию встроенных и пристроенных к зданию котельных, автоматизированных местных блочных или блок-модульных котельных полной заводской готовности, котельных расположенных на крышах.

Децентрализация энергоснабжения, в том числе теплоснабжения, способствует формированию рынка энергоносителей и конкуренции в области энергообеспечения. Потребитель получает возможность выбора производителя и поставщика энергии.

В западноевропейских странах накоплен положительный опыт использования локальных отопительных систем (ЛОС) в многоквартирных зданиях. ЛОС способствуют снижению энергозатрат в жилом фонде. Обычно они включают в себя устройства газового отопления, устройства по сжиганию твердого топлива (мусора) и устройства, аккумулирующие солнечную энергию. Эти компоненты эксплуатируются не одновременно, а в строго определенные временные отрезки и позволяют экономить до 30 – 50 % энергоресурсов по сравнению с централизованными системами теплоснабжения.

Контрольные вопросы

1. Транспортирование нефти и нефтепродуктов.
2. Транспортирование газа.
3. В чем отличие транспортирования нефти от транспортирования газа?
4. Транспорт угля на дальние расстояния.
5. Передача электрической энергии.
6. Транспорт и распределение тепловой энергии.
7. Что такое «предизолированные» трубы? Дайте им характеристику.
8. Что такое «децентрализация» в теплоснабжении?

РАЗДЕЛ № 7. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

7.1. Тепловые потери в зданиях и сооружениях

В холодное время года обязательно отапливаются комнаты, в которых люди живут и работают. Чем холоднее погода, тем больше приходится топить, потому что при похолодании увеличиваются тепловые потери через стены, окна и все наружные ограждающие конструкции. Тепло может передаваться разными способами: *теплопроводностью, конвекцией, излучением.*

В чистом виде *теплопроводность* наблюдается только в сплошных твердых телах. Теплота передается непосредственно через материал или от одного материала другому при их соприкосновении (рис. 7.1). Высокой теплопроводностью обладают плотные материалы – металл, железобетон, мрамор. Воздух имеет низкую теплопроводность. Поэтому через материалы с большим количеством замкнутых пор, заполненных воздухом, тепло передается плохо, и они могут использоваться как теплоизоляционные (щелевой кирпич, пенобетон, вспененный полиуретан, пенопласт).



Рис. 7.1. Передача тепла через кирпичную стену вследствие эффекта теплопроводности: 1 – штукатурка, 2 – кирпичная кладка

Конвекция характерна для жидких и газообразных сред, где перенос тепла происходит в результате движения молекул. Конвективный теплообмен наблюдается у поверхности стен при наличии температурного перепада между конструкцией и соприкасающимся с ней воздухом. В окнах жилых домов конвективный теплообмен происходит между поверхностями остекления, обращенными внутрь воздушной прослойки. Нагреваясь от

внутреннего стекла, теплый воздух поднимается вверх. При соприкосновении с холодным наружным стеклом воздух отдает свое тепло и, охлаждаясь, опускается вниз (рис. 7.2.). Такая циркуляция воздуха в воздушной прослойке обуславливает конвективный теплообмен. Чем больше разность температур поверхностей, тем интенсивнее теплообмен между ними.

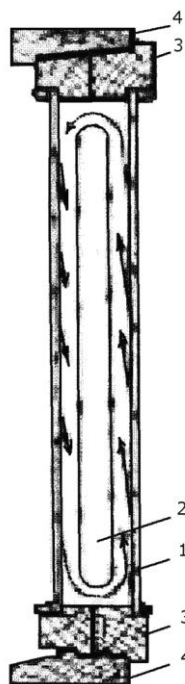


Рис. 7.2. Передача тепла конвекцией в межстекольном пространстве оконного блока со спаренным остеклением: 1 – стекло, 2 – воздушная прослойка, 3 – переплет, 4 – оконная коробка

Излучение происходит в газообразной среде путем передачи тепла с поверхности тела через пространство (в виде энергии электромагнитных волн). Нагретая поверхность радиатора излучает тепло и обогревает помещение. Чем выше температура поверхности отопительного прибора, тем сильнее обогревается помещение. На теплотери через ограждения наибольшее влияние оказывает их способность передавать теплоту, которая зависит от коэффициента теплопередачи и толщины материала.

Чем меньше коэффициент теплопередачи и толщина стен, тем больше ее термическое сопротивление (передача тепла) и лучше ее теплозащитные свойства. Кроме того, количество теряемой теплоты зависит от сопротивления теплообмену конвекцией и излучением у поверхности внутренней и наружной стен.

Чем интенсивнее происходит теплообмен, тем больше тепла теряется из помещения и передается внутренней поверхности конструкции или отдается поверхностью стены наружу, тем меньше сопротивление теплообмену и хуже теплозащита.

Теплопотери через отдельные наружные элементы дома различны и во многом зависят от теплоизоляционных качеств отдельных конструкций, а также их размеров. Наибольшая площадь наружных ограждений приходится на наружные стены. Поэтому их теплозащитные качества во многом определяют условия внутреннего микроклимата помещения. Чем выше сопротивление стены теплопередаче, тем меньший поток тепла через нее проходит, меньше теплопотери. В зависимости от конструкции стен через них теряется до 35 – 45 %. Передача тепла через стены осуществляется главным образом вследствие теплопроводности. Количество тепла, проходящего через стену, зависит от коэффициента теплопередачи материала k . Чем он выше, тем больше теплоты проходит через материал, и хуже его теплозащита. Различные строительные материалы имеют разные коэффициенты теплопередачи. На них влияют различные факторы, в частности, плотность и влажность материала.

Плотный материал имеет больший коэффициент теплопередачи по сравнению с пористым материалом. Увеличение плотности способствует повышению k . Уменьшение плотности приводит к снижению k . Это объясняется тем, что поры строительного материала заполнены воздухом, имеющим низкий коэффициент теплопередачи. Чем больше пор в материале, тем меньше его плотность и теплопроводность. Например, у железобетона плотностью 2500 кг/м^3 коэффициент теплопередачи $k = 2,04 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, у кладки из обыкновенного глиняного кирпича плотностью 1800 кг/м^3 – $k = 0,81 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, у фанеры плотностью 600 кг/м^3 – $k = 0,18 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, у плит из полистирольного пенопласта плотностью 100 кг/м^3 – $k = 0,05 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

Коэффициент теплопередачи, k – единица, которая обозначает прохождение теплового потока мощностью 1 Вт сквозь элемент строительной конструкции площадью 1 м^2 при разнице температур наружного воздуха и внутреннего в 1 Кельвин , $\text{Вт/(м}^2\text{К)}$.

Сопротивление теплопередаче – величина, обратная коэффициенту теплопередачи, $(\text{м}^2\text{К}) / \text{Вт}$.

Влажность способствует повышению теплопроводности: сырой материал имеет больший коэффициент теплопередачи и обладает худшими теплозащитными характеристиками по сравнению с сухим. Это вызвано тем, что при увлажнении материала его поры заполняются водой, имеющей высокий коэффициент теплопередачи (приблизительно в 20 раз больший, чем воздух). Например, при повышении влажности кирпичной стены толщиной $0,5 \text{ м}$ из обыкновенного глиняного кирпича от нормальной, равной от 2% , до 8% , теплозащита ухудшается более чем на 30% . Если при температуре внутреннего воздуха $+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и наружного – $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ на поверх-

ности сухой стены температура составляет $14,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, то на сырой стене на $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже и равняется $11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 7.3 б). Поэтому для теплозащиты домов очень важно, чтобы строительный материал, и в первую очередь утеплитель, был обязательно сухим, а конструкции наружных ограждений были сделаны с таким расчетом, чтобы в них не образовывался конденсат, не скапливалась влага, приводящая к ухудшению теплоизоляционной способности стен, окон, чердачных перекрытий, полов первого этажа.

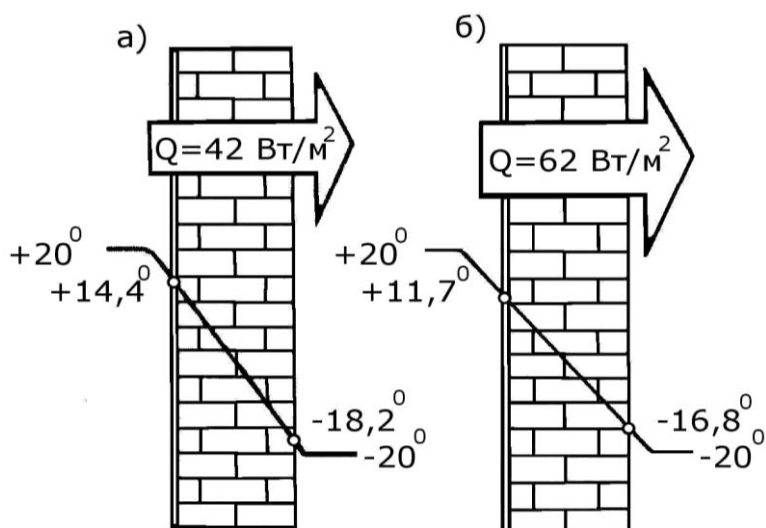


Рис. 7.3. Влияние влажности материала на теплозащитные свойства кирпичной стены: а) – сухая стена, влажность материала 5 %; б) – сырая стена, влажность материала 15 %

Таким образом, теплозащитная способность стены, ее сопротивление теплопередаче зависят от интенсивности передачи тепла на трех участках (у внутренней поверхности, в толще ограждения, у наружной поверхности), каждый из которых имеет свое сопротивление. Общее сопротивление теплопередаче представляет собой их сумму (рис. 7.4).

Оконные проемы в общей площади наружных ограждений составляют значительно меньший процент по сравнению со стенами. Однако они имеют худшую теплозащиту: сопротивление теплопередаче оконного блока с двойным остеклением в 2 – 3 раза меньше, чем у наружных стен. Поэтому через окна теряется значительное количество теплоты: 20 – 30 % всех теплопотерь дома.

На потери тепла через стены (и особенно через окна и стыки оконных коробок со стенами) сильное влияние оказывает ветер. Поскольку строительные материалы и конструкции являются в большей или меньшей степени воздухопроницаемыми, то через них воздух может проникать с улицы в помещение и из помещения на улицу. Если воздух попадает снаружи внутрь дома, то это называют *инфильтрацией*, если из помещения наружу, то *эксфильтрацией*.

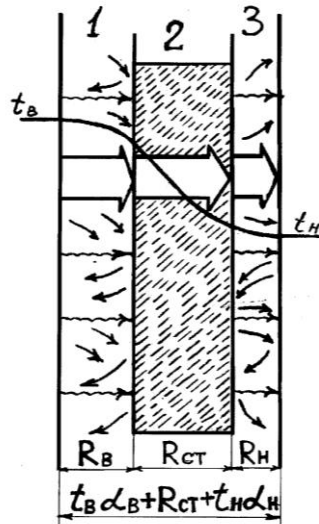


Рис. 7.4. Сопротивление теплопередаче стены: 1 – теплообмен у внутренней поверхности стены, 2 – теплопередачи через толщу ограждения, 3 – теплообмен у наружной поверхности стены; $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·К), $\alpha_{нз}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, Вт/(м²·К)

При **инфильтрации** через конструкцию стены, стыки и неплотности окон в зимний период проникает холодный воздух. Проходя через толщу стены, он вызывает снижение температуры внутри ограждения и на его поверхности, проникая в комнату, охлаждает внутренний воздух и вызывает дополнительные потери тепла. Наибольшие теплотери при инфильтрации происходят через окна и стыковые соединения оконных блоков со стенами.

При **эксфильтрации** теплый воздух проходит из помещения через наружное ограждение, повышая температуру на его поверхности и в толще, способствуя увеличению теплотерь жилого дома. Помимо этого при эксфильтрации повышается вероятность выпадения конденсата на стене, остеклении, оконных откосах и внутри ограждений. Очевидно, что фильтрация воздуха приводит к увеличению теплотерь через ограждения почти в 2 раза. Потери тепла через перекрытия первого этажа в большинстве случаев составляют 3 – 10 % общих теплотерь. При строительстве дома необходимо качественно выполнить теплоизоляцию цокольного перекрытия и обеспечить на поверхности пола температуру не более чем на 2 °С ниже температуры внутреннего воздуха.

В холодное время года часть тепла теряется через крышу, причем в одноэтажных, двухэтажных домах потери больше, чем в многоэтажных. Они составляют соответственно 30 – 35 % и 5 – 10 %. Поэтому при проектировании и строительстве индивидуальных малоэтажных домов особое внимание долж-

но быть уделено теплоизоляции перекрытия верхнего этажа или чердачного перекрытия. Часто на втором этаже индивидуального двухэтажного дома устраивают жилые комнаты – мансарды. В них крыша играет роль наружного ограждения, защищающего помещение от дождя, ветра, холода. Надежная теплоизоляция перекрытия верхнего этажа или чердачного перекрытия создают уют и тепловой комфорт, снижают затраты на отопление дома, а в солнечную погоду позволяют защитить комнату от перегрева.

Каждая квартира оборудована системой естественной **вытяжной вентиляции**. Вентиляционные отверстия расположены в ванной комнате, туалете и на кухне на внутренних стенах, в верхней их части, и прикрыты металлическими или пластмассовыми решетками. Это – вытяжные отверстия. Через них вытяжной воздух из помещений удаляется на улицу. По законам физики работа этой системы зависит от разности температуры в помещении и на улице. Чем ниже температура воздуха на улице, тем лучше она работает и больше теплого воздуха удаляется. На смену ему, благодаря создаваемому вытяжной вентиляцией разрежению в квартире через щели в окнах, открытые форточки, двери, поступает холодный наружный воздух. Причем в холодную пору года действительный объем вентиляции зачастую намного превышает требуемую норму, приводя к увеличению затрат на отопление, так как через систему вентиляции теплотери составляют до 15 %.

Таким образом, типовая **структура расхода тепловой энергии** зданием выглядит следующим образом:

наружные стены	35 – 45 %;
окна	20 – 30 %;
вентиляция	15 %;
горячая вода	10 %;
крыша, пол	5 – 10 %;
трубопровод, арматура	2 %.

Наружные стены, окна, крыша защищают наш дом от низких температур, сильного ветра, осадков в виде дождя и снега и других атмосферных воздействий. При этом они препятствуют прониканию тепла из внутреннего помещения наружу вследствие своего сопротивления теплопередаче. Все строительные конструкции, огораживающие и защищающие внутренние помещения от атмосферных воздействий, называются **ограждающими**. Конструкции, воспринимающие нагрузку и обеспечивающие прочность здания, называют **несущими**. Это колонны, балки, перекрытия, стропила. Чтобы сделать дом теплым, необходимо правильно выбрать материал, учитывая его теплозащитные свойства именно для ограждающих конструкций.

7.2. Тепловая изоляция

Качество теплоизоляции является важнейшим параметром энергопотребления здания. Коэффициент теплопередачи должен находиться в пределах от $0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ до $0,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Следует запомнить, что снижение потерь тепла на 7 – 9 % позволяет увеличить температуру в помещении на 1 °С.

В строительной практике применяются разнообразные теплоизоляционные материалы. К основным из них относятся:

- легкие бетоны (керамзитобетон, перлитобетон, шлакобетон, газобетон, пенобетон и др.);
- «теплые» растворы (цементно-перлитовый, гипсо-перлитовый, поризованный и др.);
- изделия из дерева и других органических материалов (плиты древесностружечные, фибролитовые, камышитовые и др.);
- минераловатные и стекловолоконистые материалы (минераловатные маты, минераловатные плиты мягкие, полужесткие, жесткие и повышенной жесткости на различных связующих, плиты из стекловолокна и др.);
- полимерные материалы (пенополистирол, пенопласт, пенополиуретан, перлитопластобетон и др.);
- пеностекло или газостекло, а также другие композиционные материалы и изделия из них.

Использование конкретного материала для теплозащиты стен зависит от целого ряда факторов, определяющими из которых являются: долговечность; требуемая толщина слоя теплоизоляции; возможное место расположения материала на стене; масса теплоизоляционной конструкции; стоимость материала; трудоемкость устройства; возможность поставки материала на строительную площадку.

В современном строительстве стеновые конструкции для облегчения делают многослойными. Утеплитель, как правило, располагают между слоями из бетона или кирпичной кладки. При утеплении уже возведенных зданий утеплитель может крепиться на наружной или внутренней стенах. Предпочтительней изоляцию проводить снаружи (рис. 7.5. а, б), так как в противном случае сокращается полезная площадь помещений, возникает необходимость переноса электрооборудования, имеется вероятность выпадения конденсата и образования плесени, требуется выселение жильцов на время ремонта. Внутреннюю теплоизоляцию стен обычно проводят для зда-

ний, являющихся памятниками архитектуры. Разработаны и внедрены различные технологии теплоизоляции существующих зданий. Стеновые конструкции утепляют плитными материалами, закрепляемыми на стенах, поверх которых наносится штукатурка или другие защитные влагостойкие материалы. Одним из наиболее распространенных утеплителей является минеральная вата. Утепление стен повышает комфортные условия в помещении. Температура внутренней поверхности стены увеличивается с 13 – 14 °С до 18 – 19 °С, что ведет к уменьшению излучения. При этом относительная влажность в стеновой конструкции уменьшается с 82 % до 36 %, снижая риск конденсации и разрушения. Система утепления наружных стен позволяет снизить потери тепла до 40 %.

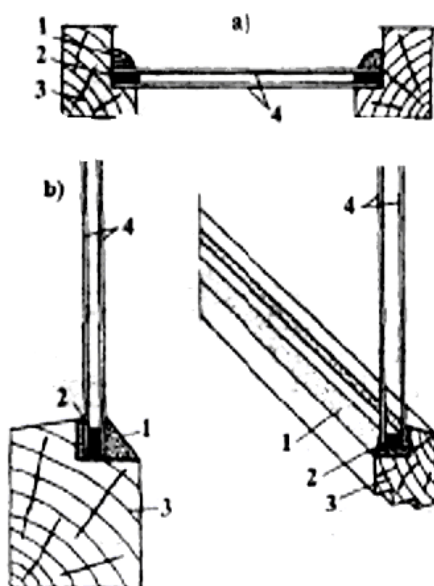


Рис. 7.5. Установка дополнительного стекла на картонную или резиновую прокладку: а) – вид в плане, б) – вид в разрезе; 1 – замазка, 2 – резиновая или картонная прокладка, обмазанная краской, 3 – переплет, 4 – скрепленные между собой стекла.

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

Наибольшие потери тепла сосредоточены в мостиках холода. Различают геометрически обусловленные мостики холода и обусловленные конструкцией и материалами. В первом случае потери тепла возрастают за счет увеличения наружных поверхностей теплообмена в углах зданий, при нали-

чии выступов. Во втором – за счет отличий теплотехнических свойств материалов стен и опор перекрытия перемычек. Например, кирпичная кладка и железобетон имеют коэффициенты теплопроводности 0,7 и 1,5 Вт/(м²·К). Специальные приемы теплоизоляции мостиков холода позволяют снизить теплопотери приблизительно в два раза.

Значительное количество тепла, как мы говорили выше, теряется через окна. В домах старой постройки, значение коэффициента теплопередачи окон может достигать 3,5 Вт/(м²·К). При этом потери составляют почти 50 % от тепла, потребляемого на отопление.

В идеале заполнения оконных проемов должны обладать такими же характеристиками по защите от шума, потери 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 $R_q > 0,6$ (м²·К)/Вт. Этого можно достичь следующими средствами:

- установка дополнительного остекления или переплета в оконный проем (см. рис. 9.5);
- установка металлизированной пленки (рис. 7.6);

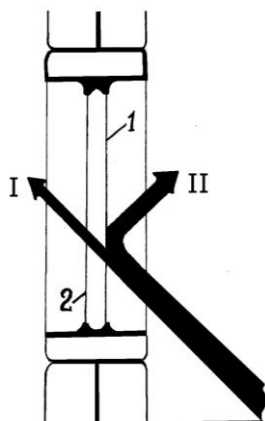


Рис. 7.6. Установка металлизированной пленки: 1 – стекло, покрытое металлизированной пленкой; 2 – стекло из пленки; I – поток тепла, прошедший через окно; II – излучение, отраженное металлизированной пленкой.

- устройство с наружной стороны окна экрана, выполненного из непрозрачных пластин;
- установка штор, жалюзи-экранов с внутренней стороны помещения;
- размещение различных экранов в межстекольном пространстве.

В таблице 7.1 приведены данные по сопротивлению теплопередаче с использованием различных вариантов конструкционных решений при заполнении оконных проемов.

Таблица 7.1

Сопротивление теплопередаче различных вариантов конструкционных решений при заполнении оконных проемов

Конструкции	Общее сопротивление теплопередаче, м ² К/Вт
Одинарное стекло	0,17
Двойное стекло	0,38
Тройное стекло	0,62
Двойное стекло + штора	0,46
Двойное стекло + две шторы	0,55
Двойное стекло + штора, покрытая алюминиевым лаком	0,64
Двойное стекло + деревянные ставни	0,52
Тройное стекло + штора	0,70
Тройное стекло + две шторы	0,73
Тройное стекло + штора, покрытая алюминиевым лаком	0,88
Тройное стекло + деревянные ставни	0,76
Тройное стекло + ставни, покрытые алюминиевым лаком	0,83

Один из путей снижения затрат тепловой энергии – применение вентилируемых окон, которые позволяют повысить температуру внутренней поверхности остекления и дать экономию энергии в результате обеспечения жилых домов свежим подогретым воздухом, необходимым для вентиляции помещения. В окнах такой конструкции делают дополнительные отверстия в нижней части наружного и верхней части внутреннего переплетов.

Улучшить условия теплового комфорта и повысить температуру внутренней поверхности окна можно за счет обдува остекления теплым воздухом. Наиболее простым способом создания восходящих струй теплого воздуха является просверливание отверстий в подоконной доске, находящейся над отопительным прибором. Нагретый воздух, поднимаясь вверх, позволит не только повысить температуру остекления, но и уменьшить влияние инфильтрующего через окно холодного воздуха. Поверхность стены, находящуюся под окном за отопительным прибором, рекомендуется утеплить, а поверх теплоизоляции устроить экран из блестящей алюминиевой фольги, отражающий излучаемое батареей тепло внутрь комнаты.

Сейчас для заполнения оконных проемов широко применяются стеклопакеты. Стеклопакет представляет собой изделие, состоящее из двух или более слоев стекла, соединенных между собой по контурам; таким образом, что между ними образуются герметически замкнутые полости, заполненные обезвоженным воздухом или другим газом (рис. 7.7).

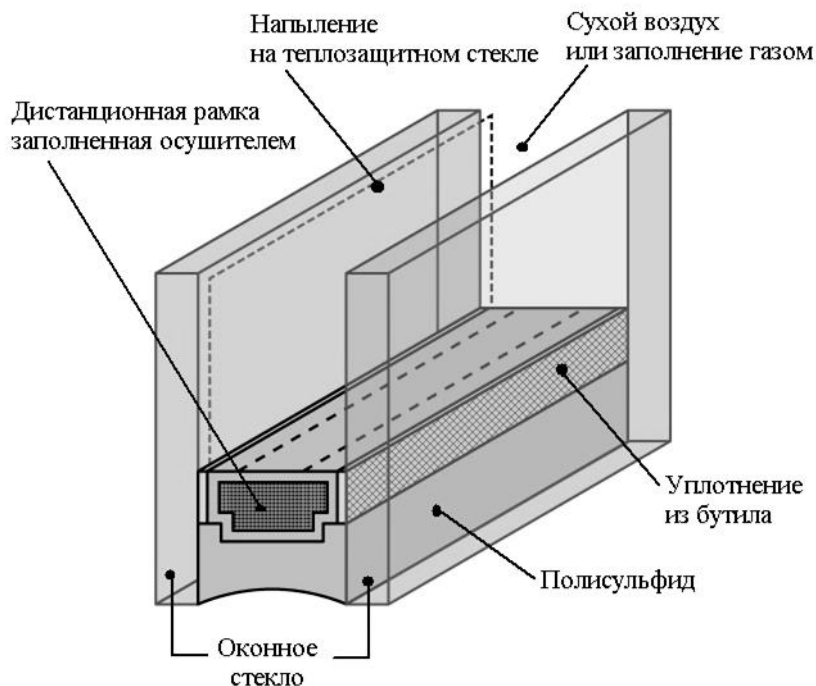


Рис. 7.7. Схема стеклопакета

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 $1,8 - 2,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$.

Для того чтобы снизить объем вентиляции зимой, рекомендуется частично прикрывать вытяжные вентиляционные отверстия. Поскольку они оборудованы нерегулируемыми решетками, прикрыть их можно плотной бумагой или картоном. Вентиляционное отверстие, расположенное в ванной комнате, лучше всего совсем закрыть. При открытом вентиляционном отверстии влага сразу же из ванной комнаты удалялась бы на улицу, а при закрытом она будет поступать в комнаты, увлажняя воздух. Это благоприятно скажется на микроклимате квартиры и самочувствии жильцов. Дело в том, что влажный воздух дает ощущение теплоты, а сухой – холода. Поэтому зимой увлажнение воздуха в помещении улучшает комфортное состояние людей.

Таким образом, существующий потенциал энергосбережения в жилищно-бытовом секторе может быть реализован за короткое время самими жильцами с помощью простых, недорогих и эффективных способов.

Контрольные вопросы

1. Какие способы передачи тепла вы знаете? Расскажите кратко о каждом из способов.
2. Объясните, почему окна имеют худшую теплозащиту, чем стены?
3. Почему при проектировании и строительстве индивидуальных малоэтажных домов особое внимание должно быть уделено теплоизоляции перекрытия верхнего этажа или чердачного перекрытия?
4. Назовите основные теплоизоляционные материалы, которые применяются в строительной практике?
5. Как вы думаете, в чем заключаются преимущества стеклопакетов по сравнению с обычным оконным стеклом?

РАЗДЕЛ № 8. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ

8.1. Общая характеристика бытового энергопотребления в РБ

В силу своего географического расположения Беларусь относится к странам с относительно холодным климатом. Продолжительность отопительного периода в республике составляет около 200 дней, что определяет значительную долю энергозатрат на отопление. На бытовом уровне потребляется почти 40 % от суммарного количества топливно-энергетических ресурсов, расходуемых в стране. Потребляемая жилищно-коммунальным сектором тепловая энергия используется для отопления (60 – 70 %) и горячего водоснабжения (30 – 40 %).

Для отопления и горячего водоснабжения квартиры среднестатистической белорусской семьи из 3 – 4 человек ежегодно на ТЭЦ или в котельных сжигается более 3 т у. т. Кроме того, за год такая семья потребляет 1200 – 1800 кВт·ч электроэнергии. Эти величины в среднем в 2 раза выше, чем в индустриально развитых европейских странах с сопоставимым климатом. При этом энергетический комфорт в наших домах значительно ниже: отсутствуют многие современные бытовые приборы, в помещениях зачастую поддерживается недостаточно высокая температура, оставляет желать лучшего качество воздуха. Бытовой энергетический комфорт во многом определяет качество жизни населения, состояние здоровья людей, наличие свободного времени. Сопоставление отечественных и европейских показателей указывает на наличие значительного потенциала энергосбережения на бытовом уровне, прежде всего по тепловой энергии, и необходимость его активной реализации как с целью экономии ТЭР, так и для повышения качества жизни белорусов.

В Республике Беларусь была разработана и утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 31.08.2007 № 1122 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 22.12.2008 № 2005) ПРОГРАММА развития системы технического нормирования, стандартизации и подтверждения соответствия в области энергосбережения.

Программа направлена на решение проблемы недостаточности запасов собственных топливно-энергетических ресурсов, а также повышение эффективности их использования, что позволит обеспечить условия для высококорентабельной работы сектора реальной экономики, повысить конкурентоспособность отечественной продукции, улучшить экологическую обстановку, качество жизни и благосостояние граждан Республики Беларусь.

Вопросы энергосбережения и обеспечения энергетической безопасности определены в Директиве Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «**Экономия и бережливость – основа энергетической независимости и экономической безопасности государства**» как основные приоритеты развития республики. Программа направлена на обеспечение реализации задач, обозначенных в Директиве Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3.

В разделах Директивы ставятся задачи по экономии и бережливому использованию топливно-энергетических и материальных ресурсов во всех сферах производства и в жилищно-коммунальном хозяйстве, в частности.

Широко пропагандировать среди населения необходимость соблюдения режима повсеместной экономии и бережливости.

8.2. Основные принципы разработки программы по сокращению энергопотребления в быту

Для снижения энергозатрат в первую очередь необходимо определиться с объемами потребления различных видов ресурсов и суммами их оплаты, то есть провести своеобразный энергоаудит. В этом помогут счетчики и счета за энергопотребление, а также несложные расчеты и измерения. Рано или поздно все энергоресурсы будут учитываться, и тот, кто раньше научится их экономить, тому будет намного легче вести семейный бюджет. Если учитываются все виды энергоресурсов, то необходимо соотносить затраты на проведение энергосберегающих мероприятий и выгоду от них, затем ранжировать. Из всего этого вытекают цели и программа Вашей деятельности по экономии энергоресурсов, а также определяется ожидаемая отдача.

Экономия электрической энергии в быту. Простота и доступность электроэнергии породили у многих людей представление о неисчерпаемости наших энергетических ресурсов, притупили чувство необходимости ее экономии. Между тем, электроэнергия сегодня дорожает. Поэтому старый призыв «**Экономьте электроэнергию!**» стал еще более актуальным. Посмотрим, как и за счет чего это можно сделать.

Обязательными условиями успеха решения поставленных задач являются следующие:

- психологическая настроенность и желание населения экономно расходовать энергоресурсы, как на производстве, так и в быту;
- знание способов энергосбережения и умение их использовать в повседневной жизни;

– рачительное отношение людей к пользованию энергетическим комфортом на подсознательном уровне, внутренняя дисциплина бережливого энергопотребления.

Внутриквартирное потребление электроэнергии составляет примерно 900 кВтч в год в расчете на «усредненную» городскую квартиру с газовой плитой и 2000 кВтч – с электрической плитой.

Среднее потребление электроэнергии бытовыми приборами (из расчета на семью из 4 человек) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Среднее потребление электроэнергии бытовыми приборами

Прибор	Установленная мощность, кВт	Годовое потребление, кВт*ч	Среднее число часов работы в год
Электроплита	5,8	1100	1400
Холодильник	0,15	450	3000
Телевизор	0,2	300	1500
Утюг	1	100	200
Пылесос	0,6	60	100
Стиральная машина	0,35	45	120

Рациональное освещение квартиры. Освещение квартиры складывается из естественного и искусственного.

Любое из них должно обеспечивать достаточную освещенность помещения, а также должно быть равномерным, без резких и неприятных теней. В помещения, окна которых выходят на север и частично на запад и восток, попадает лишь рассеянный свет. Для улучшения естественного освещения комнат отделку стен и потолка рекомендуется делать светлой. Естественная освещенность зависит также от потерь света при попадании через оконные стекла. Запыленные стекла могут поглощать до 30 % света. Наличие в настоящее время различных химических препаратов для чистки стекол позволяет без особых физических усилий содержать их в надлежащей чистоте.

Значительное количество электроэнергии напрасно расходуется днем в квартирах первых, а некоторых домах – вторых и третьих этажей. Причина этому – беспорядочные посадки зелени перед окнами, затрудняющие проникновение в квартиры естественного дневного света. Согласно существующим нормам деревья высаживаются на расстоянии не ближе 5 м от стен жилого дома, кустарник – 1,5 м.

Искусственное освещение создается электрическими светильниками. В современных квартирах широко распространены три системы освещения: общее, местное и комбинированное.

При общем освещении можно заниматься работой, не требующей сильного напряжения зрения. Светильники общего освещения обычно являются самыми мощными светильниками в помещении, их основная задача – осветить все как можно более равномерно. Для этого обычно используют потолочные или подвесные светильники, установленные в центре потолка. Общую освещенность можно считать достаточной, если на 1 м^2 площади приходится 15 – 25 Вт мощности ламп накаливания.

В одном или нескольких местах помещения следует обеспечить местное освещение с учетом конкретных условий. Такое освещение требует специальных светильников, устанавливаемых в непосредственной близости к письменному столу, креслу, туалетному столику и т. п. Так, например, достаточное освещение листа ватмана при черчении обеспечит светильник с лампой накаливания мощностью 150 Вт на расстоянии 0,8 – 1 м. Штопку черными нитками (что требует очень высокой освещенности) можно выполнять при лампе мощностью 100 Вт на расстоянии 20 – 30 см. Для продолжительного чтения рекомендуется светильник с лампой накаливания в 60 Вт.

8.3. Комбинированное освещение

Комбинированное освещение достигается одновременным использованием светильников общего и местного назначения, а также при помощи светильников комбинированного освещения. К ним относятся многоламповые светильники (например, люстры), имеющие 2 группы ламп, одна из которых обеспечивает местное, а другая – общее освещение. Местное создается световым потоком, направленным вниз (одна лампа накаливания в 100, 150, 200 Вт), а общее – световым потоком, рассеянным во всех направлениях (несколько ламп в 15 – 40 Вт).

Наиболее рациональным является принцип зонального освещения, основанный на использовании общего, комбинированного или местного освещения отдельных функциональных зон. Если при освещении этих зон использовать лампы направленного света, настольные лампы, торшеры, бра, то в квартире станет уютнее, а, следовательно, и комфортнее. Для такого зонального освещения подходят лампы в 1,5 – 2 раза менее мощные, чем в подвесных светильниках. В результате на комнату $18 - 20 \text{ м}^2$ экономится до 200 кВт·ч в год.

Между отдельными источниками света существует большая разница в световой отдаче, лк/Вт:

Лампа накаливания	12
Галогенная лампа	22
Люминесцентная лампа	55
Ртутная лампа высокого давления	55
Галогенная лампа высокого давления	80
Натриевая лампа высокого давления	95

Несмотря на то, что на смену ламп накаливания приходят энергосберегающие галогеновые лампы и полупроводниковые источники света, все же необходимо знать мероприятия по экономному использованию ламп накаливания.

Весьма ощутимую экономию электроэнергии при использовании ламп накаливания могут дать следующие мероприятия:

- применение криптоновых ламп накаливания, имеющих световую отдачу на 10 % выше, чем у ламп накаливания с аргоновым наполнением;
- замена двух ламп меньшей мощности на одну несколько большей мощности. Например, использование 1 лампы мощностью 100 Вт вместо 2 ламп по 60 Вт каждая экономит при той же освещенности потребление энергии на 12 %;
- поддержание допустимого напряжения. Для нормальной работы электрических ламп необходимо, чтобы отклонение напряжения не выходило за пределы – 2,5 % и + 5 % от номинального. Световой поток ламп зависит от уровня напряжения. Так, при снижении напряжения на 1 % у ламп накаливания световой поток уменьшается на 3 – 4 %;
- периодическая замена ламп к концу срока службы (около 1000 ч). Световой поток ламп накаливания к концу срока службы снижается на 15 %;
- периодическая чистка от пыли и грязи ламп, плафонов и осветительной арматуры. Не чистившиеся в течение года лампы и люстры пропускают на 30 % света меньше, даже в сравнительно чистой среде. На кухне с газовой плитой лампочки грязнятся намного быстрее;
- снижение уровня освещенности в подсобных помещениях, коридорах, туалетах и т. п.;
- широкое применение светорегуляторов, позволяющих в широких пределах изменять уровень освещенности;
- применение реле времени для отключения светильника через определенное время.

И еще раз следует напомнить прописную истину:

- необходимо периодически проверять, не горят ли лишние лампы, не включены ли ненужные на данный момент электроприборы;
- уходя из дома, выключать все электроприборы и осветительные установки, за исключением холодильника.

Более совершенными источниками света являются **люминесцентные лампы**. Это разновидность газоразрядного источника света, в котором используется способность некоторых веществ (люминофоров) светиться под действием ультрафиолетового излучения электрического разряда.

Люминесцентные лампы (рис. 8.1) изготавливаются в виде стеклянных трубок с двумя металлическими цоколями, наполненных парами ртути под низким давлением.

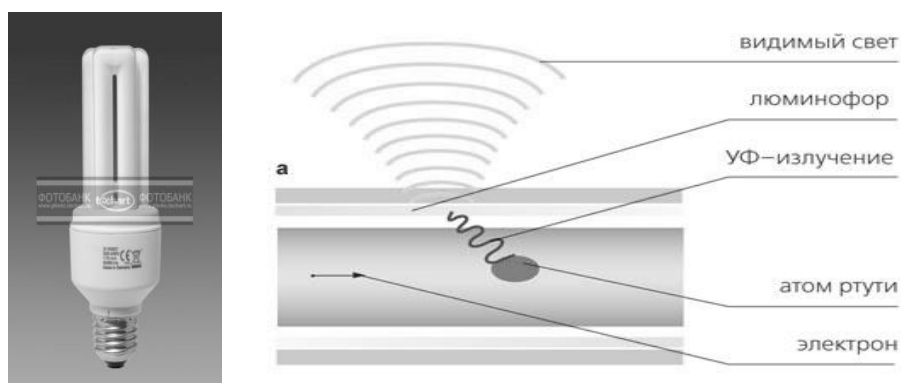


Рис. 8.1. Устройство и принцип работы люминесцентной лампы

Такая лампа имеет по сравнению с лампой накаливания в 4 – 5 раз более высокую световую отдачу и в 5 – 8 раз больший срок службы. Например, светоотдача люминесцентной лампы 20 Вт равна светоотдаче лампы накаливания 150 Вт. Освещение люминесцентной лампы позволяет получить мягкий рассеянный свет, меньше слепящий глаза и вызывающий меньшее их утомление. Как показывают исследования, средняя освещенность наших квартир еще недостаточна. Это отражается на зрении, повышает утомляемость, снижает работоспособность, ухудшает настроение человека. Реальный путь к созданию необходимого уровня освещенности при значительной экономии электроэнергии – использование люминесцентного освещения (Табл. 8.2).

Тип лампы по форме колбы и рекомендуемая область применения

Тип лампы по форме колбы	Мощность, Вт	Рекомендуемая область применения
Прямые	65 40 30	Общее освещение кухонь, кухонь-столовых, карнизное освещение вертикальных поверхностей, установка под полками и навесным оборудованием кухонь и др.
Малогобаритные прямые	20 16 13 8	Настенные светильники местного и комбинированного освещения, настольные и напольные светильники для освещения рабочих поверхностей, светильники для встраивания в мебель
V-образные	30 22	Потолочные светильники общего освещения, настенные светильники для освещения рабочих поверхностей
W-образные	30	Потолочные и подвесные светильники общего освещения жилых и вспомогательных помещений
Кольцевые	40 32 22	Потолочные и подвесные светильники общего освещения, напольные и настенные светильники для освещения рабочих поверхностей

По цветности излучения ЛЛ делятся на:

- лампы белого света (ЛБ);
- лампы дневного света (ЛД);
- лампы дневного света с исправленной цветностью (ЛДЦ);
- лампы холодно-белого света (ЛХБ);
- лампы тепло-белого света (ЛТБ) – розовый оттенок;

8.4. Экономия электроэнергии при приготовлении пищи

Правильная эксплуатация бытовых электроприборов включает в себе большие резервы экономии электроэнергии.

Самыми энергоемкими потребителями являются электроплиты. Годовое потребление электроэнергии ими составляет 1200 – 1400 кВт. Как же рационально пользоваться электроплитами?

Технология приготовления пищи требует включения конфорки на полную мощность только на время, необходимое для закипания.

Варка пищи может происходить при меньших мощностях. Суп совершенно не обязательно должен кипеть ключом: он от этого быстрее не сварится, потому что выше 100 °С вода все равно не нагреется. Зато при

интенсивном кипении она будет очень активно испаряться, унося около 0,6 кВт·ч на каждый литр выкипевшей воды.

То, что должно вариться долго, следует варить на маленькой конфорке, нагретой до минимума, и обязательно при закрытой крышке. Варка пищи на малых мощностях значительно сокращает расход электроэнергии, поэтому конфорки электроплит снабжают переключателями мощности.

Большинство электроплит оснащено сейчас 4-ступенчатыми регуляторами мощности; в результате при приготовлении пищи электроэнергия расходуется нерационально.

Применение 7-ступенчатых переключателей снизит затраты энергии на 5 – 12 %, а бесступенчатых – еще на 5 – 10 %.

Несвоевременная смена неисправных конфорок приводит к перерасходу электроэнергии на 3 – 5 %. Перегорание в конфорке одной или двух спиралей нарушает режим регулирования – минимальная мощность увеличивается в 2 – 3 раза. При расслоении, растрескивании или вспучивании чугуна нарушается плотный контакт поверхности конфорки с дном налитого сосуда.

Для снижения расхода электроэнергии на приготовление пищи на электроплитах надо применять специальную посуду с утолщенным обточенным дном диаметром, равным или несколько большим диаметра конфорки.

Для сплошных чугунных конфорок наилучшая теплопередача достигается при тесном контакте между поверхностью конфорки и дном посуды. Из-за деформации дна, наличия на нем технологических выштамповок контакт конфорки с посудой осуществляется только на части поверхности. Это удлиняет время нагрева пищи, увеличивает потребление электроэнергии и вызывает вследствие неравномерного теплосъема внутренние напряжения, в результате которых могут образоваться трещины и искривления в чугуне конфорки. Пользование посудой с искривленным дном может привести к перерасходу электроэнергии до 40 – 60 %. Для того чтобы посуда плотно прилегала к конфорке, предпочтительнее тяжелые кастрюли с утолщенным дном и увесистыми крышками. Исследования показали, что наиболее часто пользуются конфорками мощностью 1500 Вт. Это вызывает перерасход электроэнергии, да и срок службы этих теплонапряженных конфорок меньше, чем у конфорок мощностью 1000 Вт. Учитывая это обстоятельство, следует подумать о том, какую включать конфорку. Если, например, готовится небольшое количество пищи, лучше поставить кастрюлю на малую конфорку. При этом потеряется лишь несколько минут, так как максимальная мощность нужна только при закипании.

Особо следует остановиться на кипячении воды на электрической плите. Для рационального использования энергии необходимо налить воды ровно столько, сколько потребуется для данного случая. Совершенно неразумно наливать полный чайник, а впоследствии его подогревать.

Одним из условий улучшения работы электрочайника и посуды является своевременное удаление накипи. **Накипь – это твердый осадок на внутренних стенках посуды**, который образуется в результате многократного нагревания и кипячения воды. Накипь обладает малой теплопроводностью, поэтому вода в посуде с накипью нагревается медленно. Кроме того, изолированные от воды слоем накипи стенки посуды нагреваются до высоких температур, при этом железо постепенно окисляется, что приводит к быстрому прогоранию посуды. Для удаления накипи выпускают препарат «Антинакипин». Можно использовать и уксусную эссенцию (1 часть эссенции на 5 – 6 частей воды).

Еще один весомый резерв экономии электроэнергии – использование специализированных приборов для приготовления пищи. Эти приборы предназначены для приготовления отдельных видов блюд. Блюда получаются лучшего качества, чем приготовленные на плите, а энергии затрачивается меньше. Имея набор таких приборов, можно свести пользование электроплитой к минимуму. В набор могут входить электросковорода, электрокастрюля, электрогриль, электротостер, электрошашлычница, электрочайник, электросамовар, электрокофейник.

Значительные удобства, экономию времени и энергии дает применение скороварок. Их использование примерно в три раза сокращает время приготовления блюд и упрощает технологию. Расход электроэнергии при этом сокращается в два раза. Эти преимущества скороварок обеспечиваются ее герметичностью и особым тепловым режимом – температура 120 °С при избыточном давлении пара.

Неоспоримые преимущества имеют и микроволновые печи, получившие в последнее время широкое распространение. В них разогрев и приготовление продуктов происходят за счет поглощения ими энергии электромагнитных волн. Причем продукт подогревается не с поверхности, а сразу по всей его толщине. В этом заключается эффективность этих печей. При эксплуатации микроволновой печи необходимо помнить, что она боится недогрузки, когда излученная электромагнитная энергия ничем не поглощается. Поэтому во время работы печи нужно держать в ней стакан воды.

8.5. Экономия электроэнергии при пользовании радиотелевизионной аппаратуры

Радиотелевизионная аппаратура – значительный потребитель электроэнергии. Если считать, что в среднем телевизоры включены 4 часа в сутки, то ежегодно расходуется около 30 млрд. кВт·ч электроэнергии.

Для рациональной работы радиотелевизионной аппаратуры надо создать условия для ее лучшего охлаждения, а именно:

- не ставить вблизи электроотопительных приборов;
- не накрывать различного рода салфетками;
- производить систематическую очистку от пыли;
- не устанавливать в ниши мебельных стенок.

Для улучшения качества изображения часто используют стабилизаторы напряжения. Стабилизатор напряжения предназначен для подключения телевизионных приемников и другой радиоаппаратуры к электрической сети, напряжение которой заметным образом меняется в течение дня. Стабилизатор автоматически поддерживает нужное напряжение питания. Работает он от сети переменного тока, напряжением 127 или 220 В, давая номинальное выходное напряжение 220 В.

Большое количество электроэнергии тратится на длительную работу радиотелевизионной аппаратуры, работающей часто одновременно в нескольких комнатах квартиры.

Расчеты показывают, что если бы удалось снизить осветительную нагрузку и время просмотра телепередач в каждой семье на 10 % или 40 – 60 мин, то в расчете на каждую квартиру потребление электроэнергии в быту могло бы уменьшиться на 50 кВт·ч, или на 4 % современного уровня.

Многие электронные приборы – видеомагнитофоны, приемники, проигрыватели – после выключения продолжают работать в дежурном режиме. Табло прибора при этом становится электронными часами. Это, конечно, удобно. Мощность «дежурного» устройства невелика – каких-нибудь 10 – 15 Вт. Но за месяц непрерывной работы оно «съест» уже довольно ощутимое количество электроэнергии – около 10 кВт·ч.

Холодильник – энергоемкий прибор. Поскольку холодильники постоянно включены в сеть, они потребляют столько же, а то и больше, энергии, сколько электроплиты: компрессорный холодильник – 250 – 450 кВт·ч; абсорбционный – 500 – 1400 кВт·ч в год.

Холодильник следует ставить в самое прохладное место кухни (ни в коем случае не к батарее, плите), желательно возле наружной стены, но

не вплотную к ней. Чем ниже температура теплообменника, тем эффективнее он работает и реже включается. При снижении температуры теплообменника с 21 до 20 градусов, холодильник начинает расходовать электроэнергии на 6 % меньше. Ледяная «шуба», нарастая на испарители, изолирует его от внутреннего объема холодильника, заставляя включаться чаще и работать каждый раз больше. Чтобы влага из продуктов не намерзала на испарители, следует хранить их в коробках, банках и кастрюлях, плотно закрытых крышками, или завернутыми в фольгу. Регулярно размораживая и просушивая холодильник, можно сделать его гораздо экономичнее.

Стиральные машины – наиболее экономичные с точки зрения потребления электроэнергии автоматические машины, включение и выключение которых производится строго по программе. Они рассчитаны на одновременную загрузку определенной массы сухого белья. Перегружать машину не следует: ее мотору будет тяжело работать, а белье плохо отстирается. Не следует думать, что, загрузив бак машины лишь наполовину, можно добиться экономии энергии и повысить качество стирки. Половина мощности машины уйдет на то, чтобы вхолостую гонять воду в баке, а белье чище все равно не станет.

Мощность утюга довольно велика – около киловатта. Чтобы добиться некоторой экономии, белье должно быть слегка влажным: пересушенное или слишком мокрое приходится гладить дольше, тратя лишнюю энергию. Массивный утюг можно выключить незадолго до конца работы: накопленного им тепла хватит еще на несколько минут.

Для эффективной работы **пылесоса** большое значение имеет хорошая очистка пылесборника. Забитые пылью фильтры затрудняют работу пылесоса, уменьшают тягу воздуха. Для их очистки надо обзавестись щетками двух типов: плоской широкой и узкой длинной. Такими щетками легко удалять пыль как с пылесборника, так и с матерчатых фильтров.

Если рассмотреть тепловой баланс жилища, станет ясно, что большая часть тепловой энергии отопительной системы идет на то, чтобы перекрыть потери тепла. Они в жилище с центральным отоплением и водоснабжением выглядят так:

потери из-за неутепленных окон и дверей	– 40 %;
потери через оконные стекла	– 15 %;
потери через стены	– 15 %;
потери через потолки и полы	– 7 %;
потери при пользовании горячей водой	– 23 %.

Повышенный расход электроэнергии вызывает применение электроотопительных приборов (каминов, радиаторов, конвекторов и др.) дополнительно к системе центрального отопления, в котором часто нет необходимости, если выполнить простейшие мероприятия. А именно:

- своевременно подготовить окна к зиме;
- привести в порядок до наступления холодов оконные задвижки;
- покрыть полы толстыми коврами или половиками;
- расставить мебель так, чтобы не препятствовать циркуляции теплого воздуха от батареи;
- гардины должны быть не очень длинными, чтобы не закрывать батареи центрального отопления;
- убрать лишнюю краску с батарей.

Подводя итоги, хотелось бы обратить внимание на следующее. Экономия электроэнергии необходима в любое время года, месяца и дня. Но особенно она значима в часы наиболее напряженного режима работы наших электростанций, так называемых утренних и вечерних часов максимума нагрузки энергосистем. В ряде стран (например, в Англии) ни одна рачительная хозяйка не включит стиральную машину в энергетические часы пик. Причина – цена, которая резко увеличивается во время повышенной нагрузки в энергосети.

8.6. Экономия тепловой энергии

В настоящее время счетчики тепла мало распространены по ряду причин: высокая стоимость, недостаточная проработка и точность измерения и т. д. Однако данный вопрос можно рассмотреть в другом ракурсе: как поддержать в квартире достаточно комфортную температуру при плохом отоплении?

В первую очередь необходимо подготовить систему отопления.

Конвекторы необходимо промывать изнутри и периодически очищать от пыли снаружи. При эксплуатации внутренняя поверхность покрывается ржавчиной и накипью; иногда толщина отложений достигает такой величины, что существенно препятствует потоку воды, не говоря уж о переносе тепла. Для обеспечения нормальной циркуляции воздуха не следует загромождать мебелью пространство возле отопительных приборов.

Категорически запрещается закрывать их декоративными плитами, панелями и даже шторами, так как помимо резкого снижения теплоотдачи это приводит к росту теплопотерь. С целью снижения потерь тепла через стену, находящуюся за отопительным прибором, и улучшения условий циркуляции воздуха рекомендуется увеличивать расстояние между прибором и стеной.

Также рекомендуется устанавливать за конвекторами теплоотражающий экран и слой теплоизоляции. Для ограничения переноса нагретого воздуха к поверхности внутренних стекол окна необходима установка широкой подоконной доски. Окраска радиаторов масляными красками снижает теплоотдачу на 8 – 13 %, поэтому рекомендуется использовать цинковые белила.

Наравне с проблемой недостаточного отопления существует и проблема избыточного поступления тепла.

Причина избыточного поступления тепла – неотрегулированные системы теплоснабжения (Рис. 8.2).

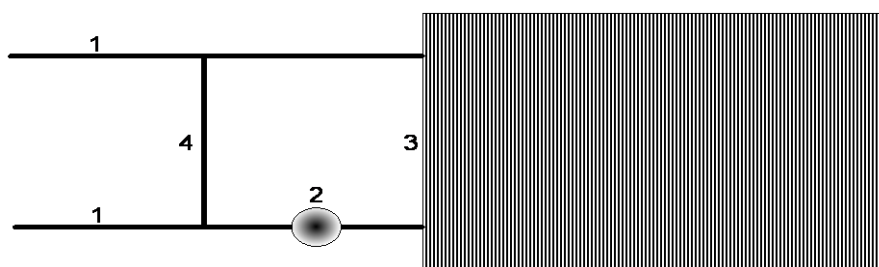


Рис. 8.2 Схема подачи горячей воды через отопительный прибор

Посмотрите, есть ли у Вас на трубопроводе отопления (1) байпас (4). Возможно, строители просто «забыли» его установить. Тогда установка байпаса (4) и терморегулятора (2) или даже простого шарового крана позволит регулировать объем теплоносителя через отопительный прибор (3) и регулировать температуру в помещении.

Первопричиной низкой температуры в наших домах является не плохое качество теплоснабжения, а огромные теплопотери. Удельный расход тепловой энергии на квадратный метр жилья в нашей республике в 2 – 4 раза (в зависимости от конкретного типа здания) выше, чем в европейских странах с сопоставимым климатом. Это свидетельствует о том, что вырабатывается и даже подается в дома очень много тепла, но оно сразу теряется. Потери тепла в зданиях по данным БелТЭИ в среднем распределяются следующим образом:

окна	– 36 %;
вентиляция	– 28 %;
стены	– 26 %;
перекрытия, подвал	– 10 %.

Низкое качество строительного-монтажных работ привело к тому, что жилищно-эксплуатационные службы из года в год тратили и тратят огромные средства на постоянные ремонтно-восстановительные работы, в основном на ремонт межпанельных стыков. Дождевая вода, попадая внутрь

панелей через неплотные стыки, снижает термическое сопротивление стен, что увеличивает тепловые потери. Другим слабым местом является сопряжение окон с наружными стенами. Здесь при косом дожде вода часто попадает в тело панелей, ухудшая их теплозащитные свойства и разрушая строительную конструкцию. Нередко вода в этих местах проникает и в жилые помещения. В результате термическое сопротивление стен в таких зданиях в 4 – 5 раз ниже нормативного.

В современных условиях нехватки энергоносителей, роста их стоимости, а также борьбы за энергосбережение (а энергосбережение является одним из приоритетных направлений государственной политики в Беларуси), сегодняшнее низкое качество строительных работ станет прямой причиной энергозачемствования и в будущем (ведь каждое здание эксплуатируется десятки лет), а потому оно просто недопустимо.

8.7. Тепловизионный контроль качества строительно-монтажных работ

Тепловизионный (с использованием инфракрасной съемки) контроль качества строительно-монтажных работ позволит повысить ответственность строителей за выполнение «скрытых работ», даст информацию разработчикам и производителям строительных конструкций по совершенствованию конструкции самих панелей и стыковых элементов. Результаты этих исследований представлены на снимках, сделанных с использованием тепловизора Agema 550.

Если говорить об огрехах проектирования, то для двух строительных серий, массово возводимых в Минске, характерен недостаток, отмеченный на рис. 8.3. В качестве примера взято здание серии М 464-9.

Характерный тепловой мостик на лоджии в месте стыка трех панелей (одной внутренней и двух наружных) наблюдается в 100 % случаев, что свидетельствует о неудачном конструктивном решении стыкового элемента.



Рис. 8.3. Отчетливо видны места на лоджиях с увеличенными тепловыми потерями (светлые пятна)

Опыт эксплуатации панельных зданий показывает, что работы по ремонту стыков начинаются именно с торцевых стыков, и происходит это иногда уже через 1 – 1,5 года после ввода здания в эксплуатацию. Отмеченные недостатки касаются обеих массовых строительных серий панельных домов в Минске. Следует отметить, что ИК съемка не дает количественную характеристику термического сопротивления ограждающей конструкции, а позволяет получить лишь относительную картину тепловых потерь. Однако она дает возможность оперативно выявить места дефектов для последующего анализа их причин.

Опытный специалист по ряду характерных признаков изображения объекта в ИК спектре, при правильной настройке оборудования для ИК съемки, в состоянии оценить термическое сопротивление отдельных строительных элементов. Что касается качества выполнения работ, ИК съемка позволяет легко выявить скрытый строительный брак.

На рис. 8.4 ясно виден брак в выполнении плоского вертикального стыка между стеновыми панелями выше 6-го этажа.

Если с 1-го по 5-й этаж температурное поле стыка не отличается от температурного поля панели, то выше мы видим резкий рост температуры стыка, что говорит о нарушении технологии строительных работ. Таким образом, мы можем констатировать, что ИК съемка является мощным оружием, которое позволяет выявить дефекты, заложенные в строительное сооружение на различных стадиях:

- при проектировании;
- при заводском изготовлении сборных элементов;
- при строительстве.

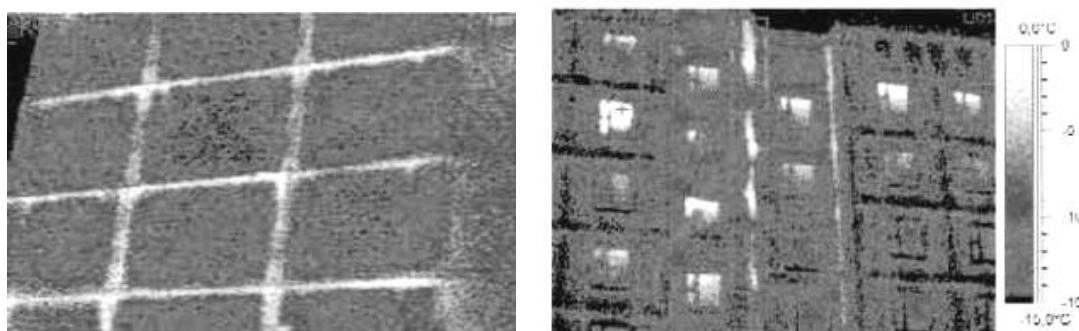


Рис. 8.4. Брак в выполнении плоского вертикального стыка между стеновыми панелями

Проектирование и строительство домов новых серий это дело будущего. Что делать сегодня?

Так как основные тепловые потери приходятся на окна, то утеплять (а лучше менять) следует в первую очередь их. Наиболее действенным

способом является установка стеклопакетов. Обычные стеклопакеты содержат между стеклами осушенный воздух и отличаются от обычных окон только повышенной герметичностью, удобством очистки и более эстетичным видом. Выпускаются вакуумированные стеклопакеты и стеклопакеты, заполненные инертными газами. Они обладают большим термическим сопротивлением. Стекла могут быть покрыты низкоэмиссионной термоотражающей пленкой, которая препятствует уходу тепла в виде излучения и снижает потери тепла через окна на 30 – 35 %.

Стеклопакеты, изготовленные с применением самых передовых технологий, имеют термическое сопротивление как у обычных наружных стен. Зачастую стеклопакеты устанавливаются вместо внутреннего остекления в стандартных рамах. При этом получается тройное остекление, что позволяет еще значительно снизить тепловые потери. Если на установку стеклопакетов средств нет, то нужно позаботиться о снижении тепловых потерь через существующие окна:

- Стекла необходимо тщательно вымыть, чтобы потом экономить на освещении.
- Необходимо устранить все щели и неплотности в раме.
- Можно заклеить бумагой, но делать это следует в безветренную погоду.
- Для устранения щелей между рамой и бетонной коробкой можно использовать монтажную пену.
- Стекла должны быть целыми.

Дешевым и весьма эффективным решением является проточка на внутренней поверхности наружного переплета дополнительной канавки и установка дополнительного стекла (при хорошем состоянии переплета) либо прозрачной полимерной пленки. Получается тройное остекление, и потери тепла через окна снижаются на 20 – 30 %.

Для понижения влажности воздуха между переплетами рекомендуется использовать адсорбенты. Сухой воздух обладает меньшей теплопроводностью, и дополнительно снижается интенсивность запотевания и замерзания стекол. Зимой желательно вешать плотные шторы, не закрывающие батареи отопления.

Остекление балконов и лоджий позволяет снизить общие теплопотери на 10 – 13 %.

Для снижения тепловых потерь через дверные проемы необходимо устанавливать двойные двери, двери с многоконтурным уплотнением, устраивать тамбуры.

Затем необходимо позаботиться о вентиляции, которая зачастую создает зимой избыточную тягу. На кухне вентиляционное отверстие можно прикрыть частично, а в ванной вообще закрыть, так как это позволит увлажнить излишне сухой воздух (зимой воздух в отапливаемых помещениях имеет пониженную влажность, что негативно сказывается на здоровье) и создать ощущение тепла.

Далее рекомендуется утеплять наружные стены, если комната угловая, и стены на лестничные клетки.

8.8. Экономия горячей и холодной воды

В первую очередь необходимо привести в порядок сантехнику и все оборудование водоснабжения. Полезно заменить старое оборудование. Современные кран-буксы с металлокерамическими элементами вместо «упругих» прокладок позволяют забыть про извечное капание из кранов. При высокой надежности пользоваться ими просто и легко.

Применение качественных распылителей на смесителях и душевых установках позволяет комфортно пользоваться водой при вдвое меньшем расходе. Рукоятка душа с прерывателем потока воды снижает ее расход еще на четверть, если конечно им пользоваться. **Принимать ванну вообще гораздо экономнее, чем пользоваться душем.**

Мыть посуду под проточной водой расточительно дважды, кроме воды увеличивается расход моющих средств. Экономнее и удобнее пользоваться двумя наполненными раковинами, в одной растворяется моющее средство, а в другой посуда ополаскивается. Расход воды снижается в десятки раз, экономятся моющие средства.

На западе принято умываться, набрав воды в раковину, добавив в воду средства по уходу за кожей. И уж тем более не следует чистить зубы или бриться под проточной водой.

Действенным инструментом стимулирования экономии энергоресурсов в жилом секторе послужило Постановление Совета Министров от 7 июля 1994 г. «О введении приборного учета расхода газа, воды и тепловой энергии в домах жилищного фонда республики», которое обязало оснащать вновь вводимое и капитально ремонтируемое жилье приборами группового и индивидуального учета. Статистика показывает, что установка счетчиков приводит к экономии и снижению расходов тепла – в 1,5 раза, холодной воды – в 2 раза, горячей воды – в 2,5 раза. В масштабе государства, которое оплачивает 60 – 65 % расходов на энергообеспечение

населения, это огромные средства. Сегодня счетчики окупаются в среднем за 3 года, скоро будут окупаться за 1,5 года.

К мощным организационно-экономическим инструментам повышения энергоэффективности бытовых приборов и устройств относится их маркировка (лейблирование) по уровню удельного энергопотребления. В настоящее время почти вся Европейская бытовая техника имеет специальную Евронаклейку с обозначением класса энергосбережения от А до G. К классу А относятся наиболее, а к классу G наименее экономичные приборы. Там же указывается годовое потребление электроэнергии в кВт·часах. Каждому классу энергосбережения соответствует определенный уровень энергопотребления.

Цена на товары назначается в зависимости от маркировки и регулирует поведение производителя и потребителя на рынке: стимулирует производителя на выпуск более энергоэкономичного оборудования, а потребителя – на его приобретение.

Кроме того, маркировка энергоэффективности позволяет населению ориентироваться в широкой номенклатуре бытовой техники.

Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику бытового энергопотребления в РБ.
2. Какие Вы знаете основные принципы разработки программы по сокращению энергопотребления в быту.
3. Что такое комбинированное освещение.
4. Какие Вы знаете способы экономии электроэнергии при приготовлении пищи.
5. Какие Вы знаете способы экономии электроэнергии при использовании радиотелевизионной аппаратуры.
6. Назовите способы экономии тепловой энергии.
7. Тепловизионный контроль качества строительно-монтажных работ.
8. Назовите способы экономии горячей и холодной воды.

РАЗДЕЛ № 9. ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ, ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Контроль качества электрической энергии подразумевает оценку соответствия показателей установленным нормам, а дальнейший анализ качества электроэнергии – определение стороны, виновной в ухудшении этих показателей.

Определение показателей качества электрической энергии – задача нетривиальная. Большинство процессов, протекающих в электрических сетях – быстропротекающие, все нормируемые показатели качества электрической энергии не могут быть измерены напрямую – их необходимо рассчитывать, а окончательное заключение можно дать только по статистически обработанным результатам. Поэтому, для определения показателей качества электрической энергии, необходимо выполнить большой объем измерений с высокой скоростью и одновременной математической и статистической обработкой измеренных значений.

Наибольший поток измерений необходим для определения несинусоидальности напряжения. Для определения всех гармоник до 40-й включительно и в пределах допустимых погрешностей, требуется выполнять измерения мгновенных значений трех междуфазных напряжений 256 раз за период ($3 \cdot 256 \cdot 50 = 38\,400$ в секунду). Для определения виновной стороны, одновременно измеряются мгновенные значения фазных токов и фазовый сдвиг между напряжением и током, только в этом случае можно определить, с какой стороны и какой величины внесена та или иная помеха.

Первичная обработка измеренных напряжений и токов состоит из определения их гармонического состава, – по всем измеренным значениям выполняется быстрое преобразование Фурье. Далее производится усреднение полученных значений на установленных интервалах времени. ГОСТ 13109-97 потребовал вычислять среднеквадратичные значения, что привело к необходимости использования двухпроцессорных схем при построении приборов.

Наиболее сложная математика задействуется при оценке колебаний напряжения. ГОСТ 13109-97 нормирует эти явления для огибающей меандровой (прямоугольной) формы, а в сети колебания напряжения имеют случайный характер. Поэтому, приходится определять форму огибающей, по указанным в ГОСТе коэффициентам приведения пересчитывать кривую и только после этого определять показатели. При этом размах изменения напряжения и доза фликера считаются по-разному, в большинстве случаев требуется отдельный, специальный прибор – **фликерметр**.

Контролировать качество электрической энергии следует с применением сертифицированных приборов, обеспечивающих измерение и расчет всех необходимых параметров, для определения и анализа качества электрической энергии.

Местом контроля качества электрической энергии являются точки общего присоединения потребителей к сетям общего назначения. В них выполняют измерения энергоснабжающие организации. Потребители проводят измерения в собственных сетях в местах ближайших к этим точкам.

ТНПА установлена **периодичность контроля качества электроэнергии** – один раз в два года для всех ПКЭ, и два раза в год для отклонения напряжения.

Существуют **задачи непрерывного мониторинга качества электроэнергии**, требующие включения приборов качества в автоматическую систему контроля управления энергией (АСКУЭ). Между тем есть приборы, одновременно выполняющие функции счетчика электроэнергии, прибора контроля качества и биллинговой системы, рассчитывающей сумму, подлежащую к оплате с учетом скидок.

9.1. Учет потребления электроэнергии, газа, тепла и воды

Только упорядочение учета расхода электроэнергии, газа, тепла и воды уже может принести значительный экономический эффект. В Европе, например, внедрение счетчиков объемов потребления энергоресурсов позволило, в среднем, снизить общие энергозатраты на 20 %. Проблемы с поиском этого оборудования уже нет, его установка не требует больших капиталовложений, технически вопрос решается достаточно легко.

Поскольку приборы учета энергии и энергоресурсов являются средствами измерения, то применять можно только приборы, занесенные в государственный реестр средств измерения. Как правило, свидетельством этому является сертификация прибора в системе сертификации Госстандарта Республики Беларусь, о чем имеется отметка в паспорте прибора, на корпусе и панели считывания информации. Кроме того, правилами пользования электрической, тепловой энергией, водой и газом установлены требования к классу точности применяемых приборов учета не ниже установленного порога.

Класс точности – это возможная погрешность прибора учета в диапазоне измерений, выраженная в процентах. Чем больше число, обозначающее класс точности, тем ниже точность прибора (табл. 9.1). Соответственно, более высокий класс соответствует меньшему числу.

Таблица 9.1

**Характеристики счетчиков электрической энергии, теплосчетчиков,
счетчиков расхода воды (горячей и холодной), газосчетчиков**

Прибор учета	Требования к точности	Диапазон и условия применения
Счетчик электрической энергии	1% (класс 1.0)	Сети с напряжением менее 0,4 кВ. (кроме граждан)
Счетчик электрической энергии	2% (класс 2.0)	Сети с напряжением менее 0,4 кВ. (для граждан - потребителей)
Счетчик электрической энергии	2% (класс 2.0) 1% (класс 1.0) класс 0,5S	Потребители с мощностью установленных устройств более 750 Квт При замене счетчика класса 2.0 и для сетей с напряжением от 6 до 35 Квт Для сетей с напряжением свыше 110 Квт
Счетчик электрической энергии	Класс 0,5S	Производители электрической энергии
Теплосчетчики в том числе: узел учета тепла водосчетчик	4% 2%	При разности температур в подающем и обратном трубопроводах более 20 градусов
Теплосчетчики в том числе: узел учета тепла водосчетчик	5% 2%	При разности температур в подающем и обратном трубопроводах от 10 до 20 градусов
Теплосчетчики для систем с подачей пара: узел учета тепла счетчик пара	4,00% 3%	При расходе пара от 30 до 100 %
Теплосчетчики для систем с подачей пара: узел учета тепла счетчик пара	5,00% 3%	При расходе пара от 10 до 30%
Счетчики расхода воды (горячей и холодной)	Требование внесения в реестр средств измерений	—
Счетчики расхода газа	Требование внесения в реестр средств измерений	—

Счетчики электрической энергии. Для населения установлено требование по применению электрических счетчиков классом точности не ниже 2.0. Поэтому все старые электросчетчики с классом точности 2.5 и менее в настоящее время изымаются из оборота. Правилами функционирования розничных рынков электрической энергии, утвержденными БелГИМ Республики Беларусь установлены требования к классам точности приборов учета электрической энергии для разных групп потребителей.

Теплосчетчики. В настоящее время в стране применяются теплосчетчики, используемые юридическими лицами, и для коллективного учета расхода тепла в многоквартирных жилых домах. Классы точности этих приборов установлены Правилами учета тепловой энергии и теплоносителя от 1995 года.

Отдельной категорией теплосчетчиков являются, так называемые, квартирные (компактные) теплосчетчики. При измерении количества тепла на одном радиаторе разность температур, как правило, менее 10 градусов. В таком случае точность измерения может быть менее 5 % и такое средство измерения будет считаться индикатором.

Комплект приборов и устройств, обеспечивающий учет тепловой энергии, массы (объема) теплоносителя, а также контроль и регистрацию его параметров. В соответствии с Правилами, узел учета тепла устанавливает и обслуживает Потребитель, а энергоснабжающая организация имеет право контролировать работу приборов. Снятие показаний, подготовка и предоставление отчетов о теплопотреблении – обязанность Потребителя.

Практика показывает, что в 95 % случаев установки приборов учета Потребитель по счетчику платит в среднем на 30 % меньше, чем по расчету энергоснабжающей организации. На это влияет много факторов: завышенные нормативы теплопотребления, неточные расчеты тепловых нагрузок, теплые зимы и экономное отношение к теплу самих потребителей – ведь со счетчиком появляется смысл его экономить (утепление фасадов, окон, дверей) вплоть до полного отключения отопления за ненадобностью из-за теплой погоды. Эффективно экономить тепло (до 30 %) позволяют автоматизированный узел управления, индивидуальный тепловой пункт, обеспечивающие автоматическое регулирование потребления тепла с учетом температуры наружного воздуха.

Счетчики газа. Правила учета газа не регламентируют класс точности приборов учета газа. Тем не менее, выпускаемые счетчики газа регистрируются в качестве средств измерения и имеют класс точности. По конструктивному исполнению это диафрагменные, ротационные, турбинные счетчики газа. Практически все они имеют погрешность 1-3 % при межпроверочном интервале до 10 лет, что сопоставимо с оговоренным сроком эксплуатации счетчика.

Счетчики газа, используемые населением, должны быть внесены в Государственный реестр средств измерений и проверены в органах Государственной метрологической службы. Монтаж и наладка этих счетчиков производятся специализированной службой, входящей в состав местной газораспределительной организации.

Счетчики воды. Правилами учета воды не регламентируется класс точности приборов учета воды. Введено требование внесения приборов в Госреестр средств измерения. По конструктивному исполнению счетчики воды весьма разнообразны и могут использовать для измерения объема различные физические принципы (тахометрические, электромагнитные, ультразвуковые, комбинированные). В быту в основном используются крыльчатые счетчики, устанавливаемые сразу после входного вентиля и фильтра.

Порядком учета воды установлено требование по межпроверочным периодам для поквартирных счетчиков воды: для холодной воды – не менее 5 лет, для горячей воды не менее – 4 лет. Кроме того, предусмотрена обязательность установки счетчиков с импульсным выходом в случае, когда в доме имеется дистанционная система считывания информации с водосчетчиков.

9.2. Автоматическое управление энергопотребителями

Применение автоматического управления энергопотребителями позволит более рационально расходовать энергоресурсы. Например: работник забыл выключить освещение при уходе домой – программируемый таймер сам выключит освещение. Нет смысла отапливать офисное помещение ночью – программируемое управление теплоснабжением уменьшит интенсивность работы обогревателей вечером, а утром, перед началом рабочего дня прогреет помещение до нужной температуры. Центральное управление всеми климатическими системами предотвратит неэффективное их использование (ситуация, когда включенный обогреватель греет помещение, а включенный кондиционер охлаждает его).

9.3. Частотно-регулирующие электроприводы

На сегодняшний день большинство электроприводов составляют нерегулируемые приводы с асинхронными двигателями. Их используют в водо- и теплоснабжении, системах вентиляции и кондиционирования воздуха, компрессорных установках и прочих. В таких установках плавное регулирование скорости вращения позволяет в большинстве случаев отказаться от использования, вариаторов, дросселей, задвижек, заслонок, исполнительных механизмов и другой регулирующей аппаратуры. Это значительно упрощает механическую систему, повышает ее надежность и снижает эксплуатационные затраты, а также затраты, связанные с приобретением регулирующей аппаратуры. При подключении через частотный регулятор, пуск двигателя происходит постепенно без пусковых токов и ударов, что снижает нагрузку на двигатель и механизмы, увеличивает срок службы. Использование частотно-регулирующего электропривода разрешает получить экономию электроэнергии до 50 %. Энергосбережение возникает путем устранения непроизводительных затрат в заслонках, дросселях и других регулирующих устройствах. При замене нерегулируемого привода, который работает в режиме периодических включений, исключаются потери на пусковые токи, снижается необходимая мощность двигателя. Регулирование в системе водоснабжения в зависимости от графика потребления воды разрешает получить значительную экономию, как электроэнергии, так и воды, уменьшить количество аварий через разрыв трубопроводов.

Одной из областей наиболее эффективного использования частотных регуляторов являются насосы дополнительной подкачки в системах водоснабжения и теплоснабжения. Особенностью этих систем является неравномерность потребления воды в зависимости от времени суток, дня недели и времени года. Постоянный объем подачи приводит к заметному ослаблению напора во время повышенного разбора воды и к значительному повышению давления в магистрали, если расход воды снижается. Повышение давления в магистрали ведет к потерям воды на пути к потребителю и увеличивает вероятность разрывов трубопроводов. При использовании частотного регулятора есть две возможности регулировать подачу воды: в зависимости от составленного графика (без обратной связи) и в зависимости от реального расхода (с датчиком давления или расхода воды). Регулируемая подача воды разрешает получить экономию электроэнергии до 50 %, а также весомую экономию воды и тепла. Исключение прямых пусков двигателя позволяет снизить пусковые токи, предотвратить гидравлические удары и избыточное давление в магистрали, увеличить срок службы двигателя и трубопроводов.

При таких производственных процессах, как изготовление и намотка полимерных нитей и пленок, провода, бумаги, стекловолокна и стеклоткани, необходимо точное регулирование скорости вращения, управление по моменту и согласованию скорости нескольких двигателей. Применение частотных регуляторов в таких технологических процессах разрешает получить высокое качество нити, провода или материала, исключить обрывы и повысить производительность труда, а также получать при намотке одинаковое натяжение материала по всей толщине рулона. Для технологического процесса, где необходимо непрерывное движение материала через несколько зон с постоянной скоростью, возможно согласование работы нескольких частотных регуляторов, бесступенчатое изменение скорости, постепенный пуск и остановка.

Для решения некоторых задач необходимо точное позиционирование механизма. В таких случаях оправданно использование частотных регуляторов с векторным управлением и обратной связью. Эта группа регуляторов имеет возможность работы с полным моментом в зоне нулевых скоростей. Приводы с асинхронными двигателями, которые питаются от таких частотных регуляторов, могут заменить регулирующие приводы постоянного тока.

Находит широкое использование частотное регулирование электродвигателями в приводах вентиляторов для градирен. Это дает возможность отказаться от использования дорогих специфических импортных двухскоростных электродвигателей, со скоростью вращения 100 – 200 оборотов в мин, и применять отечественные недорогие стандартные электродвигате-

ли со скоростью вращения 950 оборотов в мин. За счет введения частотного регулирования и встроенного ПИД-регулятора, есть возможность достижения необходимых оборотов при неизменном усилии на валу, который дает, в свою очередь, постепенное регулирование скорости вращения вентилятора и точное соблюдение температуры возвратной воды.

Для оценки экономической эффективности воспользуемся одной из разработанных программ для частотных регуляторов. При замене насоса с вентильным регулированием потока на насос, который управляется от частотного преобразователя, мы получаем сокращение энергозатрат – 31,2 %. Срок окупаемости – 1,8 года. Годовая экономия электроэнергии 5600 \$. В зависимости от объема парка оборудования можно вычислить суммарную активность от внедрения энергосберегающих технологий на предприятии.

Задача внедрения современных наукоемких технологий в области автоматизации технологических процессов и энерго-, ресурсосбережения как в жилищно-коммунальном хозяйстве, так и на промышленных предприятиях требует высокой квалификации специалистов на этапах ее разработки, внедрения и эксплуатации.

Особое внимание следует уделять этапу разработки такой системы, ее соответствию особенностям конкретных условий эксплуатации. Энергоаудит и анализ энергетических и финансовых затрат на эксплуатацию и поддержание параметров технологических процессов является первым из необходимых частей этапа разработки таких систем.

Создание оптимальной модели системы на основе проведенных исследований и проведение экономических расчетов сроков окупаемости – важный элемент в разработке бизнес-плана проекта внедрения.

Внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий – это требование времени и результат разумного решения.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте мониторинг качества электроэнергии.
2. В чем заключается учет потребления электроэнергии, газа, тепла и воды?
3. Что такое класс точности прибора?
4. Дайте характеристику счетчика электрической энергии.
5. Дайте определение теплосчетчика.
6. Дайте характеристику счетчика газа.
7. Дайте характеристику счетчика воды.
8. Автоматическое управление энергопотребителями.
9. Назначение частотно-регулирующих электроприводов.

РАЗДЕЛ № 10. ЭНЕРГЕТИКА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Производство энергии, являющееся необходимым средством для существования и развития человечества, оказывает воздействие на природу и окружающую человека среду. С одной стороны в быт и производственную деятельность человека настолько твердо вошла тепло- и электроэнергия, что человек даже и не мыслит своего существования без нее и потребляет само собой разумеющиеся неисчерпаемые ресурсы. С другой стороны, человек все больше и больше свое внимание заостряет на экономическом аспекте энергетики и требует экологически чистых энергетических производств. Это говорит о необходимости решения комплекса вопросов, среди которых перераспределение средств на покрытие нужд человечества, практическое использование в народном хозяйстве последних достижений, поиск и разработка новых альтернативных технологий для выработки тепло- и электроэнергии и т. д.

Современный период развития человечества иногда характеризуют через три «Э»: *энергетика, экономика, экология*. Энергетика в этом ряду занимает особое место. Она является определяющей и для экономики, и для экологии. От нее в решающей мере зависит экономический потенциал государств и благосостояние людей. Она же оказывает наиболее сильное воздействие на окружающую среду, экосистемы и биосферу в целом. Самые острые экологические проблемы (изменение климата, кислотные осадки, всеобщее загрязнение среды и другие) прямо или косвенно связаны с производством, либо с использованием энергии.

Энергетике принадлежит первенство не только в химическом, но и в других видах загрязнений: тепловом, аэрозольном, электромагнитном, радиоактивном. Поэтому не будет преувеличением сказать, что от решения энергетических проблем зависит возможность решения основных экологических проблем. Энергетика – это та отрасль производства, которая развивается невиданно быстрыми темпами. Если численность населения в условиях современного демографического взрыва удваивается за 40 – 50 лет, то в производстве и потреблении энергии это происходит через каждые 12 – 15 лет. При таком соотношении темпов роста населения и энергетики, энерговооруженность лавинообразно увеличивается не только в суммарном выражении, но и в расчете на душу населения.

Нет оснований ожидать, что темпы производства и потребления энергии в ближайшей перспективе существенно изменятся (некоторое замедление их в промышленно развитых странах компенсируется ростом энерговооруженности стран третьего мира), поэтому важно получить ответы на следующие вопросы:

– Какое влияние на биосферу и отдельные ее элементы оказывают основные виды современной (тепловой, водной, атомной) энергетики и как

будет изменяться соотношение этих видов в энергетическом балансе в ближайшей и отдаленной перспективе?

– Можно ли уменьшить отрицательное воздействие на среду современных (традиционных) методов получения и использования энергии?

– Каковы возможности производства энергии за счет альтернативных (нетрадиционных) ресурсов, таких как энергия солнца, ветра, термальных вод и других источников, которые относятся к неисчерпаемым и экологически чистым?

В настоящее время энергетические потребности обеспечиваются в основном за счет трех видов энергоресурсов: органического топлива, воды и атомного ядра. Энергия воды и атомная энергия используются человеком после превращения ее в электрическую энергию. В то же время значительное количество энергии, заключенной в органическом топливе, используется в виде тепловой, и только часть ее превращается в электрическую. Однако и в том и в другом случае высвобождение энергии из органического топлива связано с его сжиганием, а, следовательно, и с поступлением продуктов горения в окружающую среду. Познакомимся с основными экологическими последствиями современных способов получения и использования энергии.

10.1. Экологические проблемы тепловой энергетики

За счет сжигания топлива (включая дрова и другие биоресурсы) в настоящее время производится около 90 % энергии. Доля тепловых источников уменьшается до 80 – 85 % в производстве электроэнергии. **При этом в промышленно развитых странах нефть и нефтепродукты используются в основном для обеспечения нужд транспорта.** Например, в США (данные на 1995 г.) нефть в общем энергобалансе страны составляла 44 %, а в получении электроэнергии – только 3 %. Для угля характерна противоположная закономерность: при 22 % в общем энергобалансе он является основным в получении электроэнергии (52 %). В Китае доля угля в получении электроэнергии близка к 75 %, в то же время в России преобладающим источником получения электроэнергии является природный газ (около 40 %), а на долю угля приходится только 18 % получаемой энергии, доля нефти не превышает 10 %.

В мировом масштабе гидроресурсы обеспечивают получение около 5 – 6 % электроэнергии (в России 20,5 %), атомная энергетика дает 17 – 18 % электроэнергии. В России ее доля близка к 12 %, а в ряде стран она является преобладающей в энергетическом балансе (Франция – 74 %, Бельгия – 61 %, Швеция – 45 %).

Тепловые электростанции (ТЭС, ТЭС, КЭС). Сжигание топлива – не только основной источник энергии, но и важнейший поставщик в среду загрязняющих веществ. Тепловые электростанции в наибольшей степени «от-

ветственны» за усиливающийся парниковый эффект и выпадение кислотных осадков. Они, вместе с транспортом, поставляют в атмосферу основную долю техногенного углерода (в основном в виде CO_2), около 50 % двуокиси серы, 35 % – окислов азота и около 35 % пыли. Имеются данные, что тепловые электростанции, работающие на каменном угле, в 2 – 4 раза сильнее загрязняют среду радиоактивными веществами, чем АЭС такой же мощности.

В выбросах ТЭС содержится значительное количество металлов и их соединений. При пересчете на смертельные дозы в годовых выбросах ТЭС мощностью 1 млн. кВт содержится алюминия и его соединений свыше 100 млн. доз, железа – 400 млн. доз, магния – 1,5 млн. доз. Летальный эффект этих загрязнителей не проявляется только потому, что они попадают в организмы в незначительных количествах. Это, однако, не исключает их отрицательного влияния через воду, почву и другие звенья экосистем.

Можно считать, что тепловая энергетика оказывает отрицательное влияние практически на все элементы среды, а также на человека, другие организмы и их сообщества. В обобщенном виде эти воздействия представлены в таблице 10.1.

Вместе с тем влияние энергетика на среду и ее обитателей в большей мере зависит от вида используемых энергоносителей (топлива). Наиболее чистым топливом является природный газ, далее следует нефть (мазут), каменные угли, бурые угли, сланцы, торф.

Хотя в настоящее время значительная доля электроэнергии производится за счет относительно чистых видов топлива (газ, нефть), однако закономерной является тенденция уменьшения их доли. По имеющимся прогнозам, эти энергоносители потеряют свое ведущее значение уже в первой четверти XXI столетия. Здесь уместно вспомнить высказывание Д.И. Менделеева о недопустимости использования нефти как топлива: **«нефть не топливо – топить можно и ассигнациями»**.

Не исключена вероятность существенного увеличения в мировом энергобалансе использования угля. По имеющимся расчетам, запасы углей таковы, что они могут обеспечивать мировые потребности в энергии в течение 200 – 300 лет. Возможная добыча углей, с учетом разведанных и прогнозных запасов, оценивается более чем в 7 триллионов тонн. При этом более 1/3 мировых запасов углей находится на территории России. Поэтому закономерно ожидать увеличения доли углей или продуктов их переработки (например, газа) в получении энергии, а следовательно, и в загрязнении среды. Угли содержат от 0,2 до десятков процентов серы в основном в виде пирита, сульфата закисного железа и гипса.

Таблица 10.1.

Влияние тепловых электростанций на окружающую среду и биосферу

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биосферу				Примеры цепных реакций
	воздух	почвы и грунты	воды	экосистемы и человека	
1	2	3	4	5	6
<p>Добыча топлива: – жидкое (нефть) и в виде газа</p> <p>– твердое: (угли, сланцы, торф и т.п.)</p>	<p>Углеводородное загрязнение при испарении и утечках</p> <p>Пыль при взрывных и других работах, продукты горения терриконов и т.п.</p>	<p>Повреждение или уничтожение почв при разведке и добыче топлива, передвижениях транспорта и т.п.; загрязнение нефтью, техническими химикатами, металлом и другими отходами</p> <p>Разрушение почв и грунтов при добыче открытыми методами (карьеры), просадки рельефа, разрушение грунтов при шахтных методах добычи</p>	<p>Загрязнение нефтью в результате утечек, особенно при авариях и добычах со дна водоемов, загрязнение технологическими химреагентами и другими отходами; разрушение водоносных структур в грунтах, откачка подземных вод их сброс в водоемы</p> <p>Сильное нарушение водоносных структур, откачка и сброс в водоемы шахтных, часто высокоминерализованных, железистых и других вод</p>	<p>Разрушение и повреждение экосистем в местах добычи и при обустройстве месторождений (дороги, линии электропередач, водопроводы и т.п.), загрязнение при утечках и авариях, потеря продуктивности, ухудшение качества продукции. Воздействие на человека в основном через биопroduкцию (особенно гидробионтов)</p> <p>Разрушение экосистем или их элементов, особенно при открытых способах добычи, снижение продуктивности, воздействие на биосферу и человека через загрязненные воздух, воду и пищу. Высокая степень заболеваемости, травматизма и смертности при шахтных способах добычи</p>	<p>Загрязнение почв. Загрязнение вод нефтью и химреагентами, гибель планктона и других групп организмов, снижение рыбопродуктивности.</p> <p>Потеря потребительских или вкусовых свойств воды и продуктов промысла</p>

Транспортировка топлива	Загрязнение при испарении жидкого топлива, потере газа, нефтью, пылью от твердого топлива	Загрязнение при утечках, авариях, особенно нефтью	Загрязнение нефтью в результате потерь и при авариях	В основном через загрязнение вод и гидробиосферы	
Работа электростанций на твердом топливе	Основные поставщики углекислого газа, сернистого ангидрида, оксидов азота, продуктов для кислых осадков, аэрозолей, сажи, загрязнение радиоактивными веществами, тяжелыми металлами	Разрушение и сильное загрязнение почв вблизи предприятий (техногенные пустыни), загрязнение тяжелыми металлами, радиоактивными веществами, кислыми осадками; отчуждение земель под землеотвалы, другие отходы	Тепловое загрязнение в результате сбросов подогретых вод, химическое загрязнение через кислые осадки и сухое осаждение из атмосферы, загрязнение продуктами вымывания биореагентов и ядовитых веществ (алюминий) из почв и грунтов	Основной агент разрушения и гибели экосистем, особенно озер и хвойных лесов (обеднение видового состава, снижение продуктивности, разрушение хлорофилла, вымывание биогенов, повреждение корней и т.п.). Эвтрофикация вод и их цветение. На человека через загрязнение воздуха, воды, продуктов питания, разрушение природы, строений, памятников и т.п.	1. Загрязнение воздуха продуктами горения кислые осадки гибель лесов и экосистем озер нарушение круговоротов веществ, антропогенные сукцессии 2. Тепловое загрязнение вод дефицит кислорода, эвтрофикация и цветение вод, усиление дефицита кислорода, превращение водных экосистем в болотные
Работа электростанций на жидком топливе	То же, но в значительно меньших масштабах	То же, но в значительно меньших масштабах	Тепловое загрязнение, как для твердого топлива, остальные в значительно меньших масштабах	То же, но в значительно меньших масштабах	

Имеющиеся способы улавливания серы при сжигании топлива далеко не всегда используются из-за сложности и дороговизны. Поэтому значительное количество ее поступает и, по-видимому, будет поступать в ближайшей перспективе в окружающую среду. Серьезные экологические проблемы связаны с твердыми отходами ТЭС – золой и шлаками. Хотя зола в основной массе улавливается различными фильтрами, все же в атмосферу в виде выбросов ТЭС ежегодно поступает около 250 млн. т мелкодисперсных аэрозолей. Последние способны заметно изменять баланс солнечной радиации у земной поверхности. Они же являются ядрами конденсации для паров воды и формирования осадков, попадая в органы дыхания человека и других организмов, вызывают различные респираторные заболевания.

Выбросы ТЭС являются существенным источником такого сильного канцерогенного вещества, как бензо(а)пирен. С его действием связано увеличение онкологических заболеваний. В выбросах угольных ТЭС содержатся также окислы кремния и алюминия. Эти абразивные материалы способны разрушать легочную ткань и вызывать такое заболевание, как силикоз, которым раньше болели шахтеры. Сейчас случаи заболевания силикозом регистрируются у детей, проживающих вблизи угольных ТЭС.

Серьезную проблему вблизи ТЭС представляет складирование золы и шлаков. Для этого требуются значительные территории, которые долгое время не используются, а также являются очагами накопления тяжелых металлов и повышенной радиоактивности.

Имеются данные о том, что если бы вся сегодняшняя энергетика базировалась на угле, то выбросы CO₂ составляли бы 20 млрд. тонн в год (сейчас они близки к 6 млрд. т/год). Это тот предел, за которым прогнозируются такие изменения климата, которые обусловят катастрофические последствия для биосферы.

ТЭС – существенный источник подогретых вод, которые используются здесь как охлаждающий агент. Эти воды нередко попадают в реки и другие водоемы, обуславливая их тепловое загрязнение и сопутствующие ему цепные природные реакции (размножение водорослей, потерю кислорода, гибель гидробионтов, превращение типично водных экосистем в болотные и т. п.).

10.2. Экологические проблемы гидроэнергетики

Одно из важнейших воздействий гидроэнергетики связано с отчуждением значительных площадей плодородных (пойменных) земель под водохранилища. Например, в России, где за счет использования гидроресурсов производится не более 20 % электрической энергии, при строительстве ТЭС затоплено не менее 6 млн. га земель. На их месте уничтожены естест-

венные экосистемы. Основные воздействия ГЭС на среду, различные звенья экосистем и человека приведены в таблице 10.2.

Значительные площади земель вблизи водохранилищ испытывают подтопление в результате повышения уровня грунтовых вод. Эти земли, как правило, переходят в категорию заболоченных. В равнинных условиях подтопленные земли могут составлять 10 % и более от затопленных. Уничтожение земель и свойственных им экосистем происходит также в результате их разрушения водой (абразии) при формировании береговой линии. Абразионные процессы обычно продолжаются десятилетиями, имеют следствием переработку больших масс почвогрунтов, загрязнение вод, заиление водохранилищ.

Таким образом, со строительством водохранилищ связано резкое нарушение гидрологического режима рек, свойственных им экосистем и видового состава гидробионтов. Так, Волга практически на всем протяжении (от истоков до Волгограда) превращена в непрерывную систему водохранилищ.

Ухудшение качества воды в водохранилищах происходит по различным причинам. В них резко увеличивается количество органических веществ как за счет ушедших под воду экосистем (древесина, другие растительные остатки, гумус почв и т. п.), так и вследствие их накопления в результате замедленного водообмена. Это своего рода отстойники и аккумуляторы веществ, поступающих с водосборов.

В водохранилищах резко усиливается прогревание вод, что интенсифицирует потерю ими кислорода и другие процессы, обусловливаемые тепловым загрязнением. Последнее, совместно с накоплением биогенных веществ, создает условия для зарастания водоемов и интенсивного развития водорослей, в том числе и ядовитых сине-зеленых (цианей). По этим причинам, а также вследствие медленной обновляемости вод резко снижается их способность к самоочищению. Ухудшение качества воды ведет к гибели многих ее обитателей. Возрастает заболеваемость рыбного стада, особенно поражение гельминтами. Снижаются вкусовые качества обитателей водной среды.

Нарушаются пути миграции рыб, идет разрушение кормовых угодий, нерестилищ и т. п. Волга во многом потеряла свое значение как нерестилище для осетровых Каспия после строительства на ней каскада ГЭС.

В конечном счете, перекрытые водохранилищами речные системы из транзитных превращаются в транзитно-аккумулятивные.

Таблица 10.2

Влияние гидроэнергетики на окружающую среду, экосистемы и человека

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биосферу				Примеры цепных реакций
	почвы и грунты	воздух	воды	экосистемы и человека	
1	2	3	4	5	6
Строительство ГЭС	Разрушение почв и грунтов на стройплощадках, подъездных путях, хозяйственных объектах и т.п.; Перемещение больших масс грунтов, особенно при строительстве плотин и обваловании водохранилищ.	Аэрозольное загрязнение продуктами разрушения почв, стройматериалами (особенно цементом); химическое – в небольших объемах в основном от работы техники, предприятий, стройматериалов	Некоторое нарушение режима и загрязнение в местах строительства (обводные каналы и т.п.)	Частичное разрушение экосистем и их элементов (растительности почв), фактор беспокойства для животных, интенсивный промысел и т.п. Влияние на человека в основном через изменение среды и социальные факторы	Текущая вода (река) водохранилище накопление химических веществ (эвтрофикация) плюс тепловое загрязнение зарастание водоема (цветение) обогащение органикой обескислороживание превращение экосистемы транзитного типа в аккумулятивно-застойную порча воды болезни рыб потеря пищевых или вкусовых свойств воды и продуктов промысла. Давление водных масс на ложе водохранилищ интенсификация сейсмических явлений.
Заполнение водохранилищ	Уход под воду плодородных пойменных земель (затопление), подъем грунтовых вод в прибрежной зоне (подтопление, заболачивание). В горных условиях такие явления выражены в меньшей степени	Дополнительное испарение с чаши водохранилищ	Смена текущих вод на застойные, неизбежное загрязнение водохранилищ быстрорастворимыми или взмучиваемыми веществами при заполнении чаши водохранилищ и формирования берегов.	Полное уничтожение сухопутных экосистем (сведение лесов или их гибель от подтопления, часто оставление всей биомассы в зоне затопления), смена прибрежных экосистем. Неизбежное переселение людей из зоны за-	

<p>Работа ГЭС</p>	<p>То же, что и при затоплении, плюс многолетнее разрушение береговой линии (абразия), формирование новых типов почв в прибрежной зоне</p>	<p>Повышение влажности, понижение температур, туманы, местные ветры, часто неприятный запах от гниения органических остатков</p>	<p>Загрязнение в результате стоков с водосборов и разложения больших масс органики почв, растительных остатков, древесины и т.п., образование фенолов, накопление биогенов и других веществ; усиленное прогревание, особенно мелководий (тепловое загрязнение), эвтрофикация, цветение, потеря кислорода, накопление тяжелых металлов, ила, радиоактивных и других веществ, порча воды.</p>	<p>топления, социальные издержки.</p> <p>Формирование новых экосистем (в основном луговых и болотных) в зоне подтопления, зарастание вод, цветение; нарушение миграций рыб и других гидробионтов, смена более ценных видов менее ценными; заболевания рыб (гельминты и другие паразиты), забивание жаберных щелей водорослями, разрушение нерестилищ и зимовальных ям. Потеря вкусовых качеств рыб. Увеличение вероятности заболеваний людей при контакте с водными массами (купание и т.п.) и продуктами промысла</p>	
-------------------	--	--	---	--	--

Кроме биогенных веществ, здесь аккумулируются тяжелые металлы, радиоактивные элементы и многие ядохимикаты с длительным периодом жизни. Продукты аккумуляции делают проблематичным использование территорий, занимаемых водохранилищами, после их ликвидации. Имеются данные, что в результате заиления равнинные водохранилища теряют свою ценность как энергетические объекты через 50 – 100 лет после их строительства. Например, подсчитано, что большая Асуанская плотина, построенная на Ниле в 60-е годы, будет наполовину заиlena уже к 2025 г.

Несмотря на относительно дешевизну энергии, получаемой за счет гидроресурсов, доля их в энергетическом балансе постепенно уменьшается. Это связано как с исчерпанием наиболее дешевых ресурсов, так и с большой территориальной емкостью равнинных водохранилищ. Считается, что в перспективе мировое производство энергии на ГЭС не будет превышать 5 % от общей.

Водоохранилища оказывают заметное влияние на атмосферные процессы. Например, в засушливых районах, испарение с поверхности водохранилищ превышает испарение с равновеликой поверхности суши в десятки раз. Только с каскада Волжско-Камских водохранилищ ежегодно испаряется около 6 км³. Это примерно 2-3 годовые нормы потребления воды Москвой. С повышенным испарением связано понижение температуры воздуха, увеличение туманных явлений. Различие тепловых балансов водохранилищ и прилегающей суши обуславливает формирование местных ветров типа бризов. Эти, а также другие явления имеют следствием смену экосистем (не всегда положительную), изменение погоды. В ряде случаев в зоне водохранилищ приходится менять направление сельского хозяйства. Например, в южных районах нашей страны некоторые теплолюбивые культуры (бахчевые) не успевают вызревать, повышается заболеваемость растений, ухудшается качество продукции.

Издержки гидростроительства для среды заметно меньше в горных районах, где водохранилища обычно невелики по площади. Однако в сейсмоопасных горных районах водохранилища могут провоцировать землетрясения.

Увеличивается вероятность оползневых явлений и вероятность катастроф в результате возможного разрушения плотин. Так, в 1960 г. в Индии (штат Гунжарат) в результате прорыва плотины вода унесла 15 тысяч жизней людей.

10.3. Экологические проблемы ядерной энергетики

Ядерная энергетика до недавнего времени рассматривалась как наиболее перспективная. Это связано как с относительно большими запасами ядерного топлива, так и со щадящим воздействием на среду. К преимуществам относится также возможность строительства АЭС, не привязываясь

к месторождениям ресурсов, поскольку их транспортировка не требует существенных затрат в связи с малыми объемами. Достаточно отметить, что 0,5 кг ядерного топлива позволяет получать, столько же энергии, сколько сжигание 1000 тонн каменного угля.

До середины 80-х гг. человечество в ядерной энергетике видело один из выходов из энергетического тупика. Только за 20 лет XX в. (с середины 60-х до середины 80-х гг.) мировая доля энергетике, получаемой на АЭС, возросла практически с нулевых значений до 15 – 17 %, а в ряде стран она стала преобладающей. Ни один другой вид энергетике не имел таких темпов роста.

До недавнего времени основные экологические проблемы АЭС связывались с захоронением отработанного топлива, а также с ликвидацией самих АЭС после окончания допустимых сроков эксплуатации. Имеются данные, что стоимость таких ликвидационных работ составляет от 1/6 до 1/3 от стоимости самих АЭС. Некоторые параметры воздействия АЭС и ТЭС на среду представлены в таблице 10.3.

Таблица 10.3

**Сравнение АЭС и ТЭС по расходу топлива и воздействию на среду.
Мощность электростанций по 1000 мВт, работа в течение года (Б. Небел. 1993)**

Факторы воздействия на окружающую среду	ТЭС	АЭС
Топливо	3,5 млн. т угля	1,5 т. урана или 1000 т урановой руды
Отходы: углекислый газ; сернистый ангидрид и другие соединения; зола; радиоактивные	10 млн. т 400 тыс. т 100 тыс. т —	2 т

При нормальной работе АЭС выбросы радиоактивных элементов в среду крайне незначительны. В среднем они в 2 – 4 раза меньше, чем от ТЭС одинаковой мощности.

К маю 1986 г. 400 энергоблоков, работавших в мире и дававших более 17 % электроэнергии, увеличили природный фон радиоактивности не более чем на 0,02 %. До Чернобыльской катастрофы в нашей стране никакая отрасль производства не имела меньшего уровня производственного травматизма, чем АЭС. За 30 лет до трагедии при авариях, и то по нерадиационным причинам, погибло 17 человек. После 1986 г. главную экологическую опасность АЭС стали связывать с возможностью аварий. Хотя вероятность их на современных АЭС и невелика, но она не исключается. К наиболее крупным авариям такого плана относится случившаяся на четвертом блоке Чернобыльской АЭС.

По различным данным, суммарный выброс продуктов деления от содержащихся в реакторе составил от 3,5 % (63 кг) до 28 % (50 т). Для сравнения отметим, что бомба, сброшенная на Хиросиму, дала только 740 г радиоактивного вещества.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению подверглась территория в радиусе более 2 тыс. км, охватившая более 20 государств. В пределах бывшего СССР пострадало 11 областей, где проживает 17 млн. человек. Общая площадь загрязненных территорий превышает 8 млн. га, или 80000 км². В России наиболее значительно пострадали Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области, в Беларуси – Гомельская и Могилевская области. Пятна загрязнений имеются в Белгородской, Рязанской, Смоленской, Ленинградской и других областях.

В результате аварии погиб 31 человек и более 200 человек получили дозу радиации, приведшую к лучевой болезни. 115 тыс. человек было эвакуировано из наиболее опасной (30-километровой) зоны сразу после аварии. Число жертв и количество эвакуированных жителей увеличивается, расширяется зона загрязнения в результате перемещения радиоактивных веществ ветром, при пожарах, с транспортом и т. п. Последствия аварии будут сказываться на жизни нескольких поколений.

После аварии на Чернобыльской АЭС отдельные страны приняли решение о полном запрете на строительство АЭС. В их числе Швеция, Италия, Бразилия, Мексика. Швеция, кроме того, объявила о намерении демонтировать все действующие реакторы (их 12), хотя они и давали около 45 % всей электроэнергии страны. Резко замедлились темпы развития данного вида энергетики в других странах. Приняты меры по усилению защиты от аварий существующих, строящихся и планируемых к строительству АЭС. Вместе с тем человечество осознает, что без атомной энергетики на современном этапе развития не обойтись. Строительство и ввод в строй новых АЭС постепенно увеличивается. В настоящее время в мире действует более 500 атомных реакторов. Около 100 реакторов находится в стадии строительства.

На территории России расположено 9 АЭС, включающих 29 реакторов. Из них 22 реактора приходится на наиболее населенную европейскую часть страны. 11 реакторов относится к типу РБМК. На Чернобыльской АЭС произошло разрушение реактора этого типа. Много реакторов (по количеству больше, чем АЭС) установлено на подводных лодках, ледоколах и даже на космических объектах.

В процессе ядерных реакций выгорает лишь 0,5 – 1,5 % ядерного топлива. Ядерный реактор мощностью 1000 МВт за год работы дает около 60 т радиоактивных отходов. Часть их подвергается переработке, а основная масса требует захоронения. Технология захоронения довольно сложна

и дорогостояща. Отработанное топливо обычно перегружается в бассейны выдержки, где за несколько лет существенно снижается радиоактивность и тепловыделение. Захоронение обычно проводится на глубинах не менее 500 – 600 м в шурфах. Последние располагаются друг от друга на таком расстоянии, чтобы исключалась возможность атомных реакций.

Неизбежный результат работы АЭС – тепловое загрязнение вод. На единицу получаемой энергии здесь оно в 2 – 2,5 раза больше, чем на ТЭС, где значительно больше тепла отводится в атмосферу. Выработка 1 млн. кВт электроэнергии на ТЭС дает 1,5 км³ подогретых вод, на АЭС такой же мощности объем подогретых вод достигает 3 – 3,5 км³.

Следствием больших потерь тепла на АЭС является более низкий коэффициент их полезного действия по сравнению с ТЭС. На последних он равен 35 – 40 %, а на АЭС – только 30 – 31 %.

В целом можно назвать следующие негативные воздействия АЭС на окружающую среду:

- разрушение экосистем и их элементов (почв, грунтов, водоносных структур и т. п.) в местах добычи руд (особенно при открытом способе);
- изъятие земель под строительство самих АЭС. Особенно значительные территории отчуждаются под строительство сооружений для подачи, отвода и охлаждения подогретых вод. Для электростанции мощностью 1000 МВт требуется пруд-охладитель площадью около 800 – 900 га. Пруды могут заменяться гигантскими градирнями с диаметром у основания 100 – 120 м и высотой, равной 40-этажному зданию;
- изъятие значительных объемов вод из различных источников и сброс подогретых вод. Если эти воды попадают в реки и другие источники, в них наблюдается потеря кислорода, увеличивается вероятность цветения, возрастают явления теплового стресса у гидробионтов;
- не исключено радиоактивное загрязнение атмосферы, вод и почв в процессе добычи и транспортировки сырья, а также при работе АЭС, складировании и переработке отходов, их захоронениях.

10.4. Некоторые пути решения проблем современной энергетики

Несомненно, что в ближайшей перспективе тепловая энергетика будет оставаться преобладающей в энергетическом балансе мира и отдельных стран. Велика вероятность увеличения доли углей и других видов менее чистого топлива в получении энергии. В этой связи рассмотрим некоторые пути и способы их использования, позволяющие существенно

уменьшать отрицательное воздействие на среду. Эти способы базируются в основном на совершенствовании технологий подготовки топлива и улавливания вредных отходов. В их числе можно назвать следующие.

1. Использование и совершенствование очистных устройств. В настоящее время на многих ТЭС улавливаются в основном твердые выбросы с помощью различного вида фильтров. Наиболее агрессивный загрязнитель – сернистый ангидрид на многих ТЭС не улавливается или улавливается в ограниченном количестве. В то же время имеются ТЭС (США, Япония), на которых производится практически полная очистка от данного загрязнителя, а также от окислов азота и других вредных поллютантов. Для этого используются специальные десульфурационные (для улавливания диоксида и триоксида серы) и денитрификационные (для улавливания окислов азота) установки. Наиболее широко улавливание окислов серы и азота осуществляется посредством пропускания дымовых газов через раствор аммиака. Конечными продуктами такого процесса являются аммиачная селитра, используемая как минеральное удобрение, или раствор сульфита натрия (сырье для химической промышленности). Такими установками улавливается до 96 % окислов серы и более 80 % оксидов азота. Существуют и другие методы очистки от названных газов.

2. Уменьшение поступления соединений серы в атмосферу посредством предварительного обессеривания (десульфурации) углей и других видов топлива (нефть, газ, горючие сланцы) химическими или физическими методами. Этими методами удастся извлечь из топлива от 50 до 70 % серы до момента его сжигания.

3. Большие и реальные возможности уменьшения или стабилизации поступления загрязнений в среду связаны с экономией электроэнергии. Особенно велики такие возможности для России за счет снижения энергоемкости получаемых изделий. Например, в США на единицу получаемой продукции расходовалось в среднем в 2 раза меньше энергии, чем в бывшем СССР. В Японии такой расход был меньшим в три раза. Не менее реальна экономия энергии за счет уменьшения металлоемкости продукции, повышения ее качества и увеличения продолжительности жизни изделий. Перспективно энергосбережение за счет перехода на наукоемкие технологии, связанные с использованием компьютерных и других устройств.

4. Не менее значимы возможности экономии энергии в быту и на производстве за счет совершенствования изоляционных свойств зданий. Реальную экономию энергии дает замена ламп накаливания с КПД около 5 % флуоресцентными, КПД которых в несколько раз выше.

Крайне расточительно использование электрической энергии для получения тепла. Важно иметь в виду, что получение электрической энергии на ТЭС связано с потерей примерно 60 – 65 % тепловой энергии, а на АЭС – не менее 70 % энергии. Энергия теряется также при передаче ее по проводам на расстояние. Поэтому прямое сжигание топлива для получения тепла, особенно газа, намного рациональнее, чем через превращение его в электричество, а затем вновь в тепло.

5. Заметно повышается также КПД топлива при его использовании вместо ТЭС на ТЭЦ. В последнем случае объекты получения энергии приближаются к местам ее потребления и тем самым уменьшаются потери, связанные с передачей на расстояние. Наряду с электроэнергией на ТЭЦ используется тепло, которое улавливается охлаждающими агентами. При этом заметно сокращается вероятность теплового загрязнения водной среды. Наиболее экономично получение энергии на небольших установках типа ТЭЦ (когенерование) непосредственно в зданиях. В этом случае потери тепловой и электрической энергии снижаются до минимума. Такие способы в отдельных странах находят все большее применение.

10.5. Выбросы в атмосферу

Воздушный бассейн Республики Беларусь испытывает антропогенную нагрузку, как от региональных источников, так и вследствие трансграничного переноса. На территории Беларуси основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются автотранспорт, объекты энергетики и промышленные предприятия. Ими в 2000 г. выброшено в атмосферу 1311,3 тыс. т загрязняющих веществ. Большая часть из них произведена передвижными источниками (прежде всего автотранспортом) – 952,8 тыс. т или 72,7 %. На долю стационарных источников пришлось около 27,3 % суммарных выбросов – 358,5 тыс. т (рис. 10.1).

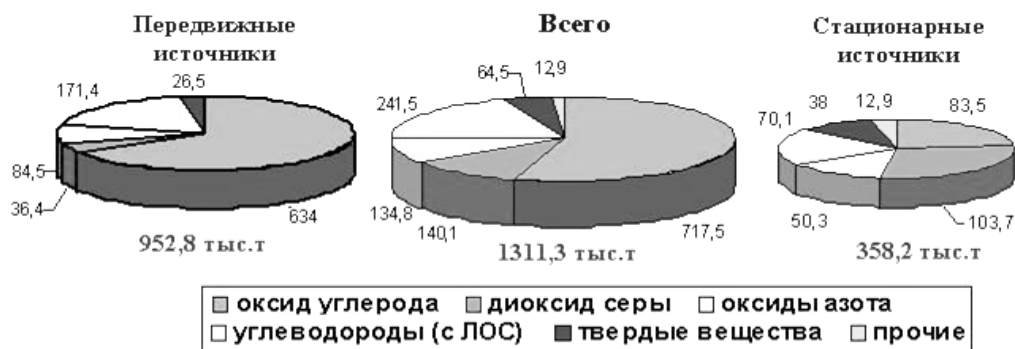


Рис. 10.1. Структура выбросов в атмосферу на территории Беларуси в 2000 г.

В составе выбросов преобладали оксид углерода – 54,7 %, диоксид серы – 10,7 %, оксиды азота – 10,3 % и углеводороды – 18,4 %. Большая часть выброшенных в атмосферу оксида углерода (88,3 %) и оксидов азота (62,7 %) обусловлены работой автотранспорта. С последним связаны также выбросы высокотоксичного бенз(а)пирена – около 0,75 т/год.

Основное количество выбросов от стационарных источников пришлось на долю 7 министерств (ведомств): концерна «Белнефтехим» (103,2 тыс. т), концерна «Белэнерго» (61,5 тыс. т), Министерства промышленности (29,7 тыс. т), Министерства архитектуры и строительства (27,5 тыс. т). Министерства сельского хозяйства и продовольствия (18,2 тыс. т), предприятия «Белтрансгаз» (14,4 тыс. т) и концерна «Беллесбумпром» (10,4 тыс. т).

Среди предприятий в 2000 г. наибольший объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу имел место на Новополоцком ПО «Нафтан» – 39,5 тыс. т, Новолукомльской ГРЭС – 19,2 тыс. т, Мозырьском нефтеперерабатывающем заводе – 19,4 тыс. т и Гродненском ПО «Азот» – 7,2 тыс. т.

Среди городов Беларуси наибольший объем выбросов в 2000 г. имел место в Минске – 159,9 тыс. т. Вклад автотранспорта в суммарный выброс по городу составил 80,7 %.

Анализ динамики выбросов показывает, что в последние годы в Республике Беларусь имеет место тенденция к снижению объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (рис. 10.2). Аналогичная тенденция характерна для загрязняющих веществ подконтрольных конвенции о трансграничном загрязнении воздуха (рис. 10.3). Так, с 1985 по 2000 гг. объем выбросов серы уменьшился на 82,1 %, а оксидов азота – на 40,3 %.

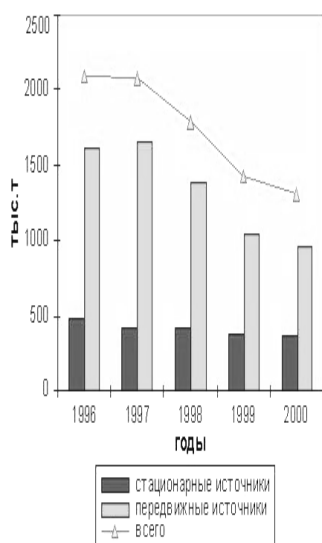


Рис. 10.2. Динамика выбросов в атмосферу на территории Беларуси

Виды веществ	1980	1985	1990	1995	1997	1998	1999	2000
Диоксид серы (от стационарных источников в пересчете на серу)	370	350	282	109,1	77,5	72,8	62,5	51,9
Оксиды азота	230	238	281	195,3	188,5	163,6	142,0	134,8
<i>в том числе:</i>								
от стационарных источников	86	84	101	54,6	52,4	50,6	50,5	50,3
от автотранспорта	144	154	180	140,7	136,1	113,0	91,5	84,5

Рис. 10.3. Динамика трансграничных выбросов в атмосферу

10.6. Трансграничный перенос и атмосферные выпадения загрязняющих веществ

Ежегодно на территории Беларуси осаждаются 180 – 190 тыс. т серы, 60 – 70 тыс. т окисленного азота, 150 – 170 тыс. т восстановленного азота, а также другие загрязняющие вещества, как от местных источников выбросов, так и от трансграничных. Суммарные выпадения серы на территории Беларуси, которые относительно быстро сокращались в первой половине 90-х гг. (с 275,1 тыс. т в 1991 году до 183,2 тыс. т в 1994 году), в последние годы стабилизировались (рис. 10.4). Выпадения нитратов не имеют выраженного тренда. С середины 90-х гг. наметилась тенденция к росту выпадений восстановленного азота (145,6 тыс. т в 1995, 171,6 тыс. т в 1998 гг.).

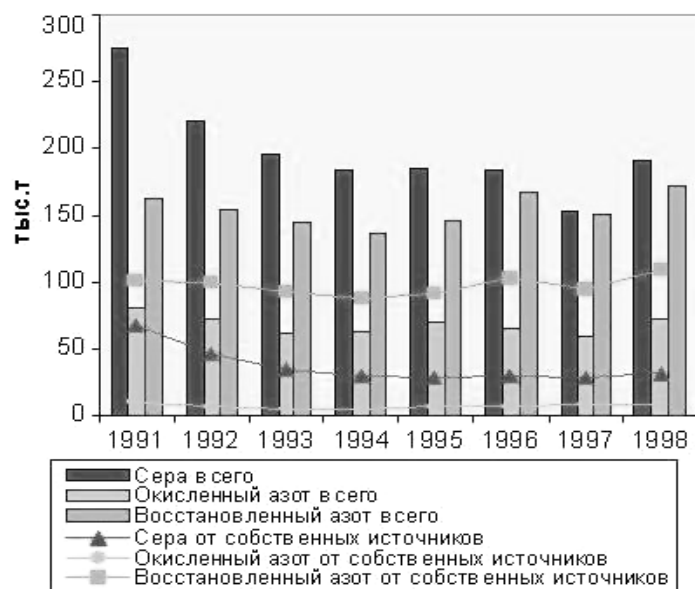


Рис. 10.4. Динамика выпадения закисляющих соединений на территории Беларуси

Особенности географического положения Беларуси обусловили резкое преобладание в составе атмосферных выпадений трансграничной составляющей. По модельным расчетам в рамках Программы ЕМЕП, доля

трансграничной серы в выпадениях составляет 84 – 86 %, окисленного азота – 89 – 94 %, восстановленного азота – 38 – 65 %.

В поступлении на территорию Беларуси окисленных серы и азота основной вклад принадлежит странам-соседям (рис. 10.5): Польше (24 и 23 %), Германии (8 и 10 %), Украине (7 и 6 %), России (6 и 10 %). Восстановленный азот имеет в основном местное происхождение; существенный вклад вносят также Украина (13 %) и Польша (8 %).

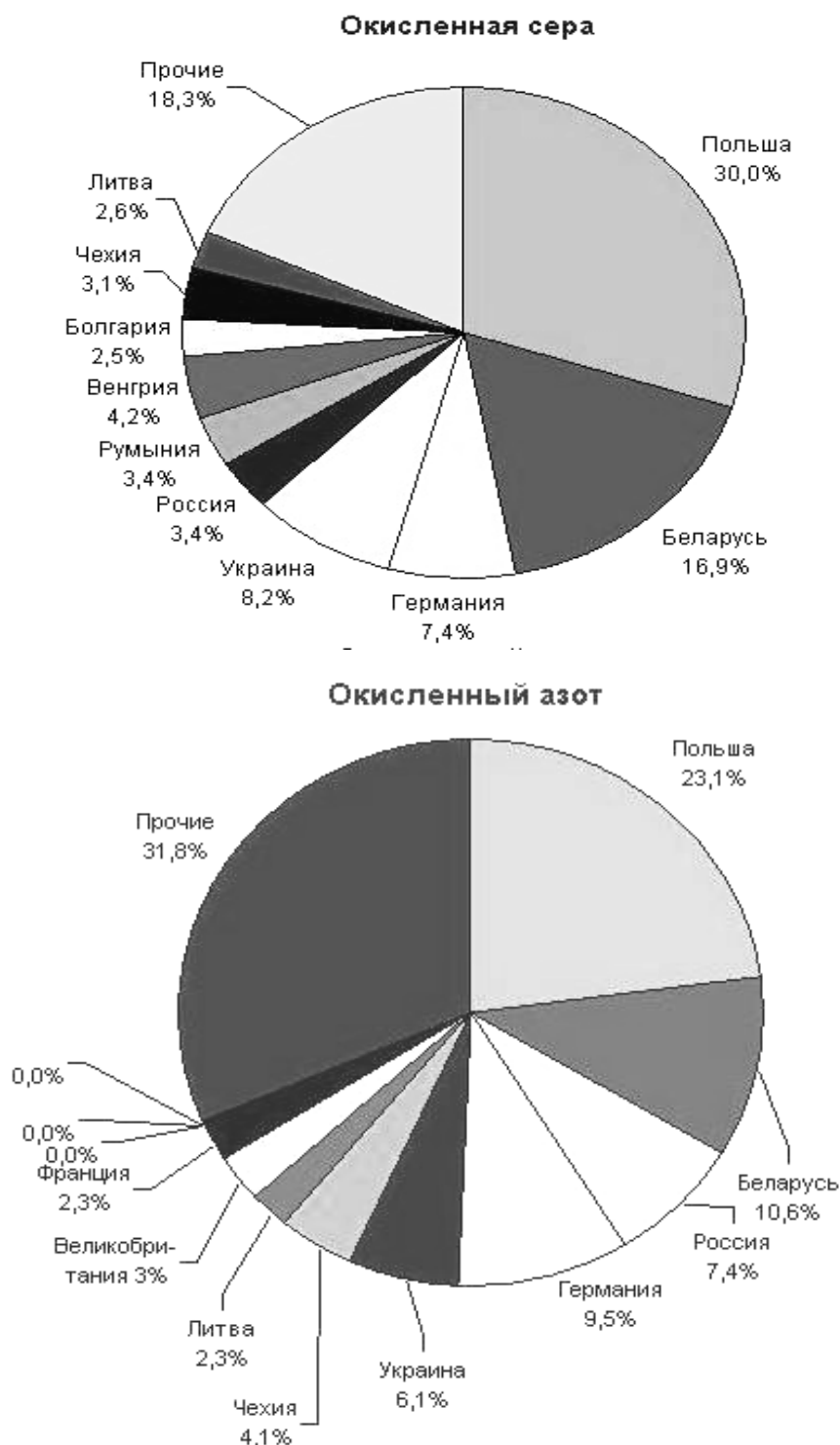




Рис. 10.5. Вклад различных стран в выпадения закисляющих соединений на территории Беларуси (по состоянию на 1998 г.)

Средняя взвешенная интенсивность влажного выпадения сульфатов (в пересчете на серу), по данным сети контроля химсостава осадков, варьировала в 1999 г. от 1,0 до 6,1 кг/км² сут.; преобладающие значения – 2 – 4 кг/км² сут. (рис. 10.6) при среднем значении 2,9 кг/км² сут.

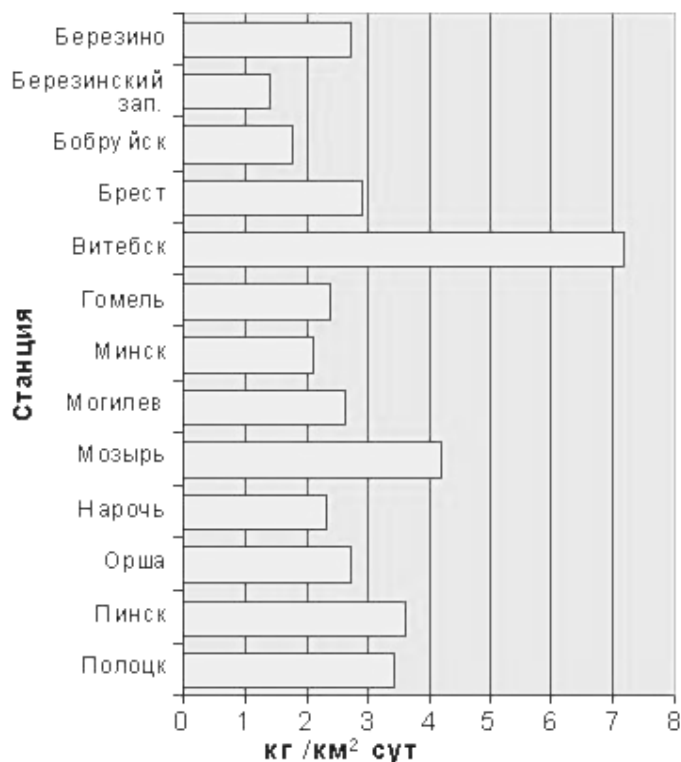


Рис. 10.6. Средняя интенсивность влажного выпадения соединений серы в 1996 – 2000 гг.

Интенсивность потока нитратов в 1999 году варьировала (в пересчете на азот) от 0,3 до 0,9 кг/км² сут. при среднем значении 0,5 кг/км² сут. Преобладающие значения в диапазоне 0,4 – 0,6 кг/км² сут. без заметных различий как в пространственном отношении, так и между фоновыми станциями и промышленными центрами.

Выпадения ионов аммония колебались (в пересчете на азот) от 0,7 до 2,7 кг/км² сут. при среднем значении 1,4 кг/км² сут.

Средние уровни влажного выпадения соединений серы в 90-е годы достоверно коррелируют с уровнями эмиссии SO₂ на как собственно территории Беларуси, так и на территории Европы в целом. В меньшей степени они связаны с уровнями выбросов SO₂ в конкретном городе, в котором проводятся измерения состава атмосферных осадков.

Реакция атмосферных осадков на большинстве станций близка к нейтральной. Это связано в первую очередь с положением станций: основная их часть расположена в крупных городах, где кислотообразующие соединения нейтрализуются основаниями в составе пылевых выбросов. В фоновых условиях осадки кислые. Особенно это характерно для станции Березинский заповедник.

Заметного тренда кислотности осадков в 90-е годы на территории Беларуси нет.

Необходимо отметить, что, несмотря на существенное сокращение выпадений закисляющих соединений в последнее десятилетие, связанное как с уменьшением собственных выбросов, так и с ослаблением трансграничных потоков, адекватного изменения кислотности осадков не произошло. Причины этого явления, возможно, в уменьшении пылевых (кислото-нейтрализующих) выбросов в городах.

10.7. Загрязнение атмосферного воздуха в городах

Для оценки уровня загрязнения атмосферы в 16 промышленных центрах, где проживает 65 % городского населения республики, создана сеть мониторинга атмосферного воздуха. В контролируемых городах установлено 50 стационарных станций, на которых 3 – 4 раза в сутки проводятся наблюдения за 25-ю вредными веществами. Программу стационарных наблюдений дополняют маршрутные и подфакельные, которые проводятся с помощью передвижных лабораторий. В некоторых городах состояние воздушного бассейна оценивается по данным эпизодических наблюдений.

Особенности географического положения республики обусловили преобладание западных потоков (повторяемость ветров западной четверти

составляет почти 50 %). Беларусь является одной из наиболее загрязняемых стран Европы за счет трансграничного переноса.

Анализ данных измерений за последние годы показал, что почти во всех контролируемых городах приостановлен процесс увеличения загрязнения воздуха взвешенными веществами, оксидами серы, углерода и азота. Прослеживается тенденция уменьшения загрязнения воздуха и специфическими примесями (сероуглеродом, фенолом и аммиаком).

Определяют проблему загрязнения атмосферы практически во всех городах высокие концентрации формальдегида. Вклад формальдегида в суммарный индекс загрязнения составляет от 50 до 80 %. Средняя за год концентрация формальдегида в городах республики в 1,5 – 3,5 раза превышает стандарт качества. Основным источником загрязнения воздуха формальдегидом – автомобильный транспорт.

О динамике загрязнения атмосферного воздуха в городах можно судить по величине интегрального показателя – индекса загрязнения атмосферы (ИЗА), учитывающего степень загрязнения воздуха пятью приоритетными поллютантами характерными для каждого из учитываемых городов. Как видно из рисунка 10.7, в последние годы наблюдается устойчивая тенденция смягчения загрязнения атмосферного воздуха в городах Беларуси.

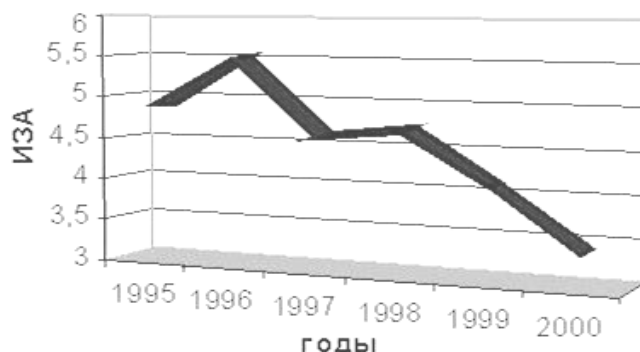


Рис. 10.7. Динамика индекса загрязнения атмосферы в городах Республики Беларусь за период 1996 – 2000 гг.

Пик загрязнения воздуха в 1996 г. в значительной степени обусловлен метеорологическими условиями: в течение года наблюдалось несколько длительных периодов с неблагоприятными условиями рассеяния загрязняющих веществ (антициклонический характер погоды, дефицит осадков, слабый ветер), способствовавшими накоплению примесей в приземном слое воздуха. В это время наблюдался рост содержания загрязняющих веществ в 1,5 – 2 раза.

По данным регулярных наблюдений за пятилетний период средние за год концентрации взвешенных веществ, фенола и формальдегида снизились на 24 – 37 %, диоксида серы на 57 %. Темпы снижения среднего уровня загрязнения воздуха оксидами азота и оксидом углерода были выражены гораздо меньше (около 10 %). В то же время отмечен рост содержания в атмосферном воздухе сероводорода (до 25 %).

В 2000 г. во всех контролируемых городах не зафиксировано высоких уровней загрязнения воздуха. Существенно уменьшилось число случаев с повышенным содержанием загрязняющих воздух веществ. Вместе с тем при неблагоприятных метеоусловиях разовые концентрации основных и специфических примесей в большинстве промышленных центров нередко превышали стандарты качества в 2 – 4 раза.

10.8. Воздействие энергетики

В энергетике Беларуси с 1990 г. осуществляется постепенный переход с нефтепродуктов и угля на природный газ. В последние годы по концерну «Белэнерго», владеющему всеми крупными электростанциями страны, доля мазута в топливном балансе составляла около 10 %. Каменный уголь в энергетике Беларуси не использовался.

В связи с постоянно увеличивающейся долей природного газа в структуре потребляемого топлива постоянно снижаются выбросы в атмосферу диоксида серы. В 2000 г. по концерну «Белэнерго» они составили 25,4 тыс. т/год (рис. 11.8). Оксиды азота более стабильны и составили в 2000 г. 30,6 тыс. т/год.

Год	Расход топлива, млн.т.т	Выбросы в атмосферу, тыс.т				Производство	
		SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	электроэнергии, млрд. кВт.ч	тепла, млн. Гкал.
1996	12,9	104,2	34,3	5,3	22900	23,7	37,0
1997	12,8	59,4	34,3	4,9	23070	26,0	36,2
1998	11,8	57,9	31,9	4,3	21320	23,5	35,5
1999	12,3	49,8	32,6	4,9	21920	26,5	32,5
2000	11,8	25,4	30,6	4,6	20100	25,6	31,2

Рис. 10.8. Расход топлива, производство энергии и выбросы в атмосферу от предприятий концерна «Белэнерго» в 1996 – 2000 гг.

В свете ратификации Беларусью Киотского соглашения по сокращению выбросов в атмосферу парниковых газов представляет интерес динамика выбросов в атмосферу диоксида углерода. Его величина постепенно снижается в соответствии с количеством сжигаемого топлива; в 2000 г. она составила 20,1 млн. т.

Доля энергетики в общереспубликанских выбросах показана на рис. 10.9.

Источники выбросов	Выбросы, тыс.т / %				
	SO ₂	NO _x	CO	твердые вещества	CO ₂
Концерн «Белэнерго»	49,8/30,4	32,6/23,0	4,9/0,6	0,1/0,1	21920/32,6
Другие стационарные источники	75,1/45,9	17,9/12,6	80,1/10,2	41,5/59,5	35900/53,3
Автотранспорт	38,8/23,7	91,5/64,4	701,4/89,2	28,2/40,4	9500/14,1
Всего	163,7/100	142,0/100	786,4/100	69,8/100	67320/100

Рис. 10.9. Долевое участие энергетики в выбросах загрязняющих веществ в атмосферу на территории Беларуси (по данным концерна «Белэнерго», 1999 г.)

Как видно из таблицы, доля «Белэнерго» в выбросах диоксида серы на территории Беларуси составляет 30,4 %, в выбросах оксидов азота – 23,0 %. Значительна также доля энергетики в выбросах диоксида углерода – около 1/3 общего объема эмиссий.

Загрязнение атмосферы в городах характерными для энергетики компонентами повсеместно укладывается в действующие нормативы, при этом фоновое загрязнение городов диоксидом серы значительно ниже допустимого уровня. По диоксиду азота загрязнение атмосферы в г. Могилеве хотя и укладывается в существующий норматив, однако требует снижения, т. к. запаса фона для развития города практически не остается.

Переход энергетики с твердых и жидких топлив преимущественно на газ во многом предопределил выполнение Белоруссией обязательств по снижению объемов выбросов диоксида серы в соответствии с Протоколами 1985 и 1994 гг.

По мнению специалистов, за счет более рационального использования электроэнергии и уменьшения потерь тепла в электросетях может быть снижено воздействие энергетики на окружающую среду еще на 30 – 40 %.

Важным резервом смягчения отрицательного воздействия энергетики на атмосферный воздух является увеличение производства тепла на ТЭЦ, т. к. при одновременном производстве электроэнергии и тепла удельные расходы топлива на оба вида энергии сокращаются.

10.9. Воздействие автотранспорта

В Беларуси на долю автотранспорта приходится около 3/4 выбросов в атмосферу загрязняющих веществ. В настоящее время автомобильный парк страны насчитывает около 1,7 млн. единиц подвижного состава, в том числе 390 тысяч автомобилей и 300 тысяч тракторов, дорожных и строительных машин находятся во владении различных хозяйств и организаций и около 1 млн. автомобилей у индивидуальных владельцев. Из 390 тысяч

автомобилей, принадлежащих хозяйствам, 61,5 % составляют бензиновые, 30,8 % – дизельные и 7,7 % – газобаллонные.

В 2000 г. выбросы от передвижных источников на территории Беларуси составили 952,8 тыс. т или 72,6 % всех выбросов в атмосферу, в том числе диоксида серы 36,4 тыс. т, оксида углерода – 634,0 тыс. т, оксидов азота – 84,5 тыс. т, углеводородов – 171,4 тыс. т, сажи – 26,5 тыс. т. В связи с прекращением в Беларуси с 1997 г. производства и импорта этилированного бензина, выбросы в атмосферу свинца автомобильным транспортом минимальны.

В последние годы продолжается снижение объемов выбросов загрязняющих веществ передвижными источниками. Уменьшение объемов выбросов связаны с несколькими причинами: ужесточением контроля выбросов и дымностью автомобилей, как в автохозяйствах, так и на автодорогах, возрастанием в структуре автомобильного парка страны автомобилей, произведенных в западноевропейских странах и Японии с меньшими удельными расходами топлива, перевод части автомобилей на природный газ. Так, например, в Несвижском районе 70 % автомобилей автотранспортных предприятий работают на газообразном топливе.

Негативное влияние автотранспорта в первую очередь проявляется в крупных городах и вдоль автодорог с интенсивным движением. С транспортными потоками связаны высокие концентрации формальдегида в атмосферном воздухе большинства городов. Значительную опасность для населения представляют также выбросы канцерогенного бенз(а)пирена, составляющие около 0,75 т/год.

С учетом сложившейся ситуации экологическая политика в отношении автотранспорта в ближайшей перспективе будет направлена на:

- выведение из использования этилированного бензина;
- ужесточение экологических нормативов и системы контроля над их выполнением;
- обновление автомобильного парка и улучшение его экологических характеристик;
- продолжение мероприятий по переводу автомобилей с жидких видов топлива на альтернативные.

10.10. Мониторинг и охрана озонового слоя

Увеличение концентрации тропосферного озона становится тревожным явлением глобального масштаба, а его мониторинг и охрана одной из важнейших задач.

Наряду с увеличением концентрации приземного озона серьезную озабоченность вызывает продолжающееся истощение озонового слоя ат-

мосферы, в основном сосредоточенного в нижней и средней стратосфере. Общеизвестно, что причиной уменьшения глобального содержания озона являются выбросы в атмосферу соединений хлора и брома.

Решением Правительства в Беларуси создан и функционирует Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы, ведутся регулярные наблюдения за озоновым слоем. Особое место в ряду наблюдений занимает 1998 г., когда на Минской озонометрической станции, как и большинстве аналогичных станций средней полосы Северного полушария в течение почти всего года фиксировались аномально высокие значения общего содержания озона (ОСО). Несмотря на повышенные уровни ОСО в 1999 г. по сравнению с многолетними средними значениями, они были все же меньше, чем в 1998 г. (рис. 10.10). Ситуация полностью нормализовалась в 2000 г., когда среднемесячные значения ОСО вернулись к уровню 1997 г.

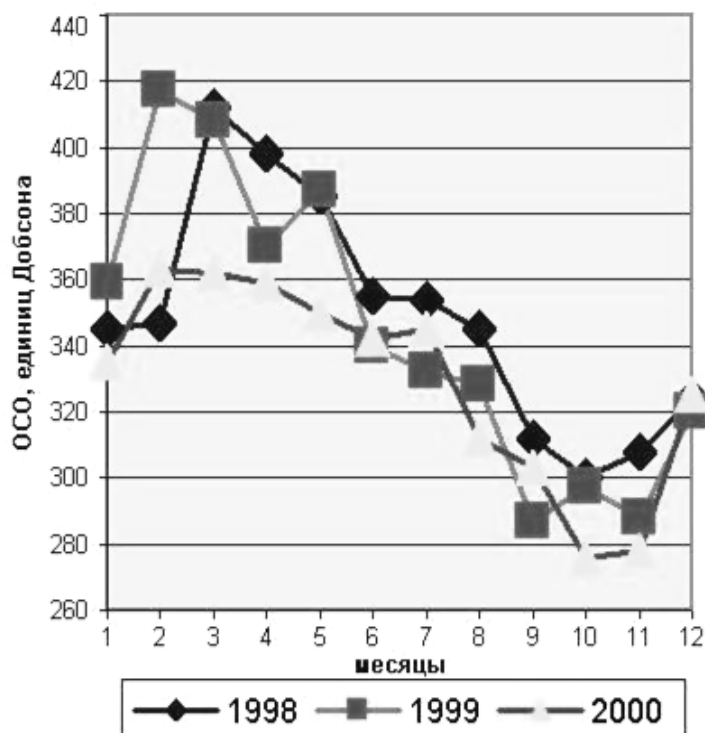


Рис. 10.10. Динамика общего содержания озона в атмосфере над территорией Беларуси

Резкое снижение общего содержания озона над Европой в конце ноября – начале декабря в 1996, 1997 и 1999 гг. уверенно фиксируется в рядах наблюдений на Минской озонометрической станции и по данным спутниковых наблюдений. Исключением является именно 1998 г., когда явление отсутствовало или было слишком слабым и прошло незаметно. Пожалуй, такое исключение из правила служит только еще одним подтверждением особенности

1998 г. Зато в 1999 г. «декабрьская озоновая дыра» достигла рекордных размеров и интенсивности за весь период спутниковых наблюдений. Менее интенсивная отрицательная озоновая аномалия проходила над территорией Беларуси 17 – 19 ноября 2000 г. практически ежегодная повторяемость явления в конце осени – начале зимы говорит о его климатическом характере, не связанном с общим истощением озонового слоя в 1998 – 2000 гг.

Республика Беларусь является Стороной Венской конвенции об охране озонового слоя и Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. В стране целенаправленно и последовательно осуществляются мероприятия, вытекающие из международных обязательств.

Запрещенные к использованию озоноразрушающие вещества в Республике не производятся, поэтому основные усилия сосредоточены на сокращении и прекращении использования озоноразрушающих веществ в промышленности и сельском хозяйстве, а также на проблеме рециклинга этих веществ.

Реализован проект Глобального Экологического Фонда, в результате которого на шести крупнейших предприятиях, использующих ОРВ, выведено из потребления более 600 т озоноразрушающих веществ.

Налажен действенный контроль ввоза в Республику озоноразрушающих веществ и продукции, содержащей такие вещества.

Создана и функционирует сеть станций рециклинга для сбора, очистки и повторного использования отработанных озоноразрушающих веществ.

Последовательно совершенствуется законодательная база в области охраны озонового слоя. Разработан, прошел экспертизу и одобрен Советом Министров Республики Беларусь проект Закона Республик Беларусь «Об охране озонового слоя».

10.11. Изменение климата и парниковые газы

Анализ среднемесячных и среднегодовых изменений температуры и осадков на территории Беларуси за последнее столетие показал рост среднегодовой температуры во всех районах республики на величину около 0,5 – 1,0 °С. Особенно сильное потепление отмечалось в зимний период в последние 3 десятилетия. Рост температуры зимой в указанный период особенно в январе – феврале и начале весны (марте) составил 2 – 3 °С. Стали часто отмечаться «двуядерные» зимы, когда температура в январе была выше, чем в соседние месяцы. В летние месяцы года не обнаружено роста температуры в последние десятилетия, а осенью наблюдалось даже падение температуры.

Предыдущее потепление, наблюдаемое в 30-е годы, было существенно менее мощным. Оно было выражено летом и в начале осени и имело

радиационную природу. Очищение атмосферы от вулканического аэрозоля в 30-е годы, о чем свидетельствует многолетний ход солнечной радиации, обеспечило рост температуры летом на 1,5 – 2,0 °С. В зимний период во время потепления 30-х годов рост температуры был незначительным.

Современное потепление климата имеет иную природу. Пространственно-временные особенности изменения температуры за последние 30 лет не противоречат модельным оценкам изменения климата за счет роста парниковых газов в атмосфере, что позволяет считать это потепление антропогенным. Антропогенный «сигнал», связанный с изменением газового и аэрозольного состава, свойств подстилающей поверхности происходящих в результате интенсивной мелиорации южной части республики, а также сопредельных Украины и Польши, обнаружен в уменьшении осадков на юге Беларуси во вторую половину летнего сезона.

На фоне трендовых изменений температуры и осадков произошло существенное изменение числа экстремальных климатических явлений (засух, наводнений, суровых и теплых зим). За период последнего потепления возросло количество положительных и отрицательных аномалий по сравнению с потеплением 30-х годов. Засухи 1992, 1994 и 1999 гг. и наводнение на юге Беларуси в 1993 г. составили ряд наиболее экстремальных климатических явлений.

При анализе динамики осадков следует принять во внимание экспериментально обнаруженное на метеорологических станциях республики снижение скорости ветра за последние десятилетия, что должно было привести к снижению испарения и влажности воздуха и, как следствие, ослаблению роли местного влагооборота и уменьшению количества выпадающих осадков.

В северной части республики, где мелиорации подверглись меньшие площади, изменения осадков носят другой характер. Там в последние десятилетия наблюдается небольшой рост осадков зимой. Если исходить из сценария климатического оптимума в голоцене, то действительно должен наблюдаться рост осадков в высоких широтах.

Важнейшей особенностью потепления 80 – 90-х гг. прошлого столетия является уменьшение дневных и увеличение ночных температур в городах по сравнению с сельской местностью. Эти особенности изменения температуры связаны с влиянием парниковых газов и аэрозолей на климат. В этой связи амплитуды суточного хода температуры на урбанизированных территориях уменьшаются. Происходит уменьшение и амплитуд годового хода температуры, т. е. **климат Беларуси становится более близким к морскому.**

Таким образом, современное изменение климата Беларуси определяется влиянием большого числа факторов естественного и антропогенного

происхождения. Обнаруженное современное потепление зимой и похолодание летом обусловлены, в значительной степени, влиянием парниковых газов и аэрозолей естественного и антропогенного происхождения. Мелиорация южных районов республики и сопредельных стран привела к региональным изменениям среднемесячных летних температур на несколько десятых градуса и осадков на 10 – 30 мм.

Оценки показывают, что суммарные выбросы парниковых газов в Республике Беларусь в год не превышают 0,5 % от общих выбросов парниковых газов в мире.

Если в 1990 г. суммарные выбросы парниковых газов на территории Беларуси составляли 132,8 млн. т, то в связи с экономическим спадом и последующим восстановлением экономики в жестких рамках энергосбережения и проведении других мероприятий к 2010 г. выбросы парниковых газов в республике не достигнут базового 1990 г. и составят 120 – 125 млн. т (90 – 94 %). Это позволяет заключить, что Республика Беларусь выполнит условия Рамочной Конвенции ООН и Киотского протокола к ней.

В соответствии с Основными направлениями энергетической политики Республики Беларусь до 2010 г. в топливно-энергетическом комплексе страны предусмотрено использование нетрадиционных источников энергии, перевод грузового и пассажирского движения на электротягу, дизелизация парка автотранспортных средств. Разработан ряд научно-технических программ в области энергосбережения, улучшения технологий в промышленности и других отраслях народного хозяйства.

Основываясь на детальном анализе сложившейся ситуации, в апреле 2000 г. Республика Беларусь присоединилась к Рамочной конвенции ООН по изменению климата.

Важным направлением по снижению концентрации парниковых газов в атмосфере является сохранение и увеличение стоков и резервуаров парниковых газов.

Территория Республики Беларусь обладает большой ассимиляционной способностью парниковых газов. Молодые и средневозрастные леса, занимающие площадь около 5,5 млн. га являются стоком углекислого газа. Если прирост древесины в год составляет 25 млн. м³, то сток углекислого газа составит около 10 млн. т. С учетом запланированных работ по лесоразведению и лесовосстановлению, в соответствии с концепцией развития лесного хозяйства Республики Беларусь до 2015 г., реальная величина поглощения углекислого газа будет гораздо выше. Лесопользование к 2010 г. снизится до уровня 1990 г. Намечено также интенсивное использование

для энергетических целей отходов древесной массы, образующихся при санитарных рубках и рубках ухода. При этом будут уменьшаться выбросы парниковых газов, связанных с разложением отходов.

Другим ассимилирующим резервуаром парниковых газов являются болота, находящиеся в естественном состоянии. Площадь таких болот в республике около 1,7 млн. га. Болота очищают атмосферу постоянно, а леса только в молодом возрасте. Один гектар болота выводит углекислого газа из биологического круговорота приблизительно на порядок больше, чем один гектар леса. Болота Беларуси, находящиеся в естественном состоянии, выводят из атмосферы около 3 млн. т углекислого газа. Планируемое повторное заболачивание выработанных торфяников позволит увеличить годовое поглощение углекислого газа еще на величину около 0,3 млн. т.

В Беларуси разработана Национальная климатическая программа. Достижение целей программы во многом позволит предотвратить опасные изменения климата и произвести адаптацию различных отраслей экономики к изменяющимся климатическим условиям, а также обеспечит выполнение международных обязательств Республики Беларусь по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата.

10.12. Управление качеством атмосферного воздуха

Национальная политика Республики Беларусь в области управления качеством атмосферного воздуха отражена в ряде документов, разработанных и реализуемых в последние годы: «Национальной стратегии устойчивого развития» (1997 г.), «Национальном плане действий по гигиене окружающей среды Беларуси» (2000 г.) и ряде других.

Основными принципами, лежащими в основе национальной политики в области управления качеством атмосферного воздуха, являются:

- установление предельных выбросов для каждого предприятия, города, района и области;
- установление норм выбросов для отдельных стационарных и передвижных источников с учетом технического прогресса;
- энергосбережение;
- перевод стационарных и передвижных источников на менее опасные в экологическом отношении виды топлива;
- учет критических нагрузок при планировании воздействий и воздухоохранной деятельности;
- соответствие принимаемых решений и осуществляемых действий международным соглашениям и конвенциям;

- мониторинг трансграничного переноса и атмосферных выпадений загрязняющих веществ;
- сокращение потребления озоноразрушающих веществ и мониторинг озоносферы.

Снижению химических нагрузок на воздушный бассейн и улучшению качества атмосферного воздуха будут способствовать следующие меры:

- внедрение энергоресурсосберегающих технологий в промышленности и энергетике;
- расширение научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по высокоэффективным методам и оборудованию для очистки отходящих газов с утилизацией уловленных продуктов, особенно сернистых соединений, оксидов азота, углеводородов; оснащение источников выбросов пылегазоочистным оборудованием;
- обеспечение производства и использование низкосернистого мазута и дизельного топлива в необходимых объемах;
- обеспечение в соответствии с международными соглашениями стабилизации и дальнейшего сокращения выбросов оксидов азота и соединений серы за счет увеличения доли природного газа в топливном балансе и совершенствования технологических процессов;
- организация повсеместного контроля выбросов от передвижных источников;
- перевод автотранспорта на сжатый и сжиженный газ (до 20 % автопарка), внедрение специальных нейтрализаторов для отработавших газов и фильтров для сажи, создание диагностических постов и пунктов контроля технического состояния автомобилей;
- продолжение бесперебойного снабжения автотранспорта неэтилированным бензином в объеме, полностью удовлетворяющем потребности страны;
- рациональное использование и сохранение природных поглотителей и накопителей парниковых газов, в первую очередь лесов и болот.

В соответствии с международными обязательствами Беларусь регулярно предоставляет информацию о выбросах на ее территории. Являясь участником Программы ЕМЕП, Беларусь выполняет, начиная с 1996 г., научные работы в качестве вклада в данную Программу.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте взаимосвязь между энергетикой, экономикой и экологией.
2. Экологические проблемы тепловой энергетики.
3. Какое влияние на окружающую среду и биосферу оказывают тепловые электростанции?
4. Экологические проблемы гидроэнергетики.
5. Какое влияние гидроэнергетика оказывает на окружающую среду, экосистемы и человека?
6. Назовите экологические проблемы ядерной энергетики.
7. Назовите пути решения проблем современной энергетики.
8. Выбросы в атмосферу.
9. Трансграничный перенос и атмосферные выпадения загрязняющих веществ.
10. Загрязнение атмосферного воздуха в городах.
11. Воздействие энергетики.
12. Воздействие автотранспорта
13. Мониторинг и охрана озонового слоя.
14. Изменение климата и парниковые газы.
15. Управление качеством атмосферного воздуха.
16. Какие меры будут способствовать снижению химических нагрузок на воздушный бассейн и улучшению качества атмосферного воздуха?

РАЗДЕЛ № 11. ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

11.1. Надежность в энергетике

Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени свои эксплуатационные показатели в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Понятие надежности очень широкое, его нельзя охарактеризовать с помощью какого-либо одного показателя.

Надежность объекта обеспечивается его: безотказностью, ремонтно-пригодностью, сохранностью, долговечностью.

Различают два основных состояния объекта: работоспособность и отказ.

Работоспособность – это состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Отказ – это нарушение работоспособности. Следствием отказов энергетических объектов может быть значительный народнохозяйственный ущерб. Отказы, которые характеризуются крупными нарушениями режима объекта, приводящими к частичному или полному его разрушению, создающими опасность для жизни людей и окружающей среды, называют **авариями**.

По характеру функционирования энергетические объекты могут быть:

а) *восстанавливаемыми*, которые после нарушения работоспособности ремонтируются и вновь включаются в работу;

б) *невосстанавливаемыми*, которые используются однократно до отказа, после чего должны заменяться.

Большинство энергетических объектов относится к числу восстанавливаемых. В качестве невосстанавливаемых могут рассматриваться, главным образом, отдельные детали и узлы энергетического оборудования.

К примеру, Белорусская энергосистема в 2003 г. отработала без аварий. Хотя количество отказов первой и второй степени увеличилось до 549, но из них по вине персонала произошло лишь 26 (за 2002 г. – 545 и 30 соответственно). Существенно снизилось число отказов в электрических сетях. Выполнены капитальные ремонты 23 энергетических котлов, 10 водогрейно-отопительных котлов, 13 турбин, 20 генераторов и синхронных компенсаторов, 9 силовых трансформаторов, 47 высоковольтных выключателей, 8 аккумуляторных батарей. Отремонтировано 4117,9 км (100,5 % к годовому заданию) воздушных ЛЭП 35 – 750 кВт и 23772 км (102,7 %) распределительных сетей 0,4 – 10 кВт. Значительно (на 25 %) перевыполнен план ремонта тепловых сетей: 79,5 км, в том числе 22,7 км магистральных.

11.2. Качество электрической энергии

К показателям качества в электрических сетях постоянного тока относятся: отклонения напряжения, колебания напряжения, коэффициент пульсации напряжения. В электрических сетях однофазного переменного тока – отклонения частоты, отклонения напряжения, колебания частоты, колебания напряжения, несинусоидальность формы кривой напряжения. В электрических сетях трехфазного переменного тока – отклонения частоты, отклонения напряжения, колебания напряжения, несинусоидальность формы кривой напряжения, смещение нейтрали и несимметрия напряжения основной частоты. Все перечисленные показатели могут быть разделены на показатели, характеризующие качество частоты, и показатели, характеризующие качество напряжения.

Рассмотрим отдельные показатели качества электроэнергии. Основным показателем качества электроэнергии является частота переменного тока. Стандартным значением частоты в нашей стране является 50 Гц. Частота в электрических системах обычно изменяется в относительно узких пределах. Поэтому пользуются показателем отклонений частоты от номинального значения. Отклонением частоты называется разность между фактическим f и номинальным f_n значением частоты:

$$\Delta f = f - f_n \quad (11.1)$$

В современных крупных автоматически регулируемых энергетических системах СНГ допустимыми значениями являются $\Delta f = \pm 0,1$ Гц. Современные регулирующие устройства позволяют обеспечить поддержание частоты в столь узких границах без особого удорожания этих устройств. Вместе с тем такие узкие пределы изменения частоты диктуются и экономическими соображениями, связанными с применением электроэнергии, поскольку более значительные изменения частоты могут вызывать изменения технических и экономических показателей работы электроприемников и аппаратов. Это связано, прежде всего, с существенным влиянием частоты на число оборотов электродвигателей, следовательно, и на производительность механизмов. Снижение частоты приводит к сокращению числа оборотов двигателей, уменьшению их производительности, снижению экономических показателей их работы.

Отклонения напряжения измеряются разностью фактического значения напряжения U и номинального его значения U_H :

$$V = U - U_H \quad (11.2)$$

Иногда его выражают в процентах к номинальному значению, т. е.:

$$V \% = (U - U_n) / U_n \cdot 100 \% \quad (11.3)$$

При этом под отклонениями понимают медленные плавные изменения напряжения, обусловленные изменением нагрузки во времени. В условиях нормальной работы допускаются следующие предельные значения отклонений от номинального напряжения:

- рабочее освещение в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение: от $-2,5$ до $+5$ %;
- на зажимах электродвигателей и аппаратов для их пуска и управления: от -5 до $+10$ %;
- на зажимах остальных электроприемных устройств – в пределах $\pm 0,5$ %.

По техническим условиям могут быть допущены и более высокие значения отклонений напряжений. Указанные технически допустимые пределы отклонений напряжения, по существу, являются более простой формой учета условий экономичности. Так, снижение напряжения оказывает неблагоприятное воздействие на работу осветительных ламп и электрических двигателей, составляющих вместе с лампами значительную часть всех приемников электроэнергии. Снижение напряжения вызывает резкое уменьшение светового потока ламп накаливания и коэффициента их полезного действия. При напряжении, на 5 % меньше номинального, световой поток уменьшается на 18 %, а снижение напряжения на 10 % приводит уже к уменьшению светового потока приблизительно на 30 %. С этим связано и значительное уменьшение освещенности рабочих мест на производстве, что влечет за собой снижение производительности труда и ухудшение его качества. Увеличивается при этом и число несчастных случаев.

При повышении напряжения свыше номинального световой поток ламп накаливания значительно увеличивается, но зато сокращается срок их службы. Так, при повышении напряжения на 10 % световой поток увеличивается примерно на 30 %, а срок службы ламп сокращается почти в 3 раза.

Что касается электрических двигателей, то понижение напряжения значительно уменьшает крутящий момент, что приводит к остановке или невозможности запуска двигателей. При пониженном напряжении у двигателей ухудшается КПД и происходит процесс более интенсивного старения изоляции из-за увеличения тока, проходящего по обмоткам. В ряде случаев снижается производительность соединенных с двигателем механизмов. Иногда снижение напряжения может привести к тяжелым систем-

ным авариям. Расчеты показывают, что при длительной работе полностью загруженного двигателя, с отклонениями напряжения на зажимах $U \% = \pm 10 \%$, срок его службы сокращается примерно вдвое.

Работа электротермических установок при снижении напряжения на их зажимах существенно ухудшается, увеличивается длительность технологического процесса, а в некоторых случаях происходит полное его расстройство. Падение напряжения на зажимах электропечей приводит к снижению их производительности. Аналогично на электролизных установках снижается производительность, повышаются удельные расходы электроэнергии, и увеличивается себестоимость продукции.

Колебания напряжения $U_t \%$ характеризуются относительной разностью между наибольшим U_6 и наименьшим U_M действующими значениями напряжения при скорости изменения напряжения, равной не менее 1% в секунду.

5.3. Производительность труда и ее определение в энергетике

Эффективность использования трудовых ресурсов определяется производительностью труда, которая представляет собой отношение количества продукции к затраченному на нее труду. На практике производительность труда в основном измеряют выработкой, т. е. путем деления объема валовой продукции на среднесписочное число промышленно-производственного персонала. Такой способ измерения производительности труда нельзя признать удовлетворительным, так как при нем продукт живого и прошлого труда относят к затратам только живого труда. При большой доле прошлого труда в продукции энергетике образуется значительная погрешность в измерении производительности труда выработкой.

Фактическая выработка электроэнергии определяется графиком ее потребления, а распределение нагрузки по потребляющим энергию предприятиям зависит от решений, принимаемых диспетчерской службой энергообъединения (энергосистемы). Поэтому результатом труда коллектива отдельной электростанции не может служить только отпущенная энергия. Кроме того, продукция электроэнергетики весьма материалоемка. Вследствие этого на энергопредприятиях для оценки результатов труда применяется несколько показателей. В качестве измерителей используются и натуральные, и стоимостные показатели. Как один из натуральных показателей результатов труда отдельного предприятия использовался показатель готовности оборудования электростанций к несению электрических и тепловых нагрузок.

Производительность труда на электростанциях часто измеряется **штатным коэффициентом m** (чел./МВт), представляющим собой численность промышленно-производственного персонала электростанций в расчете на единицу установленной мощности, чел./МВт:

$$m = Ч/N_y, \quad (11.4)$$

где: $Ч$ – численность персонала, человек;

N_y – установленная мощность электростанции, МВт.

Этот показатель используется как натуральный измеритель производительности труда действующих и проектируемых электростанций. Штатный коэффициент или его аналоги применяются и для измерения производительности труда в отдельных цехах электростанций. Но для котельных цехов, районных котельных численность промышленно-производственного персонала подразделений относят к суммарной номинальной производительности котлов.

Штатный коэффициент отражает степень технического совершенства электростанций, единичную мощность агрегатов, качество топлива для ТЭС, степень автоматизации, механизации, телемеханизации.

Для гидроэлектростанций, отличающихся сравнительной простотой управления и обслуживания, штатный коэффициент значительно ниже, чем для ТЭС. Для крупных гидроэлектростанций он составляет 0,1 – 0,4 чел./МВт.

Для электросетевых предприятий в качестве измерителя производительности труда применяется **коэффициент обслуживания**. Это объем работ по обслуживанию оборудования сетевых предприятий, выраженный в условных единицах обслуживания по отношению к численности промышленно-производственного персонала. Одним из основных элементов определения коэффициента обслуживания является соизмерение объема и качества работы по обслуживанию различного вида оборудования и электрических сетей. **За единицу обслуживания принимается 1 км электропередачи напряжением 110 кВт.** Величина коэффициента обслуживания резко изменяется в зависимости от мощности сетевого предприятия. Чем больше его мощность, тем выше коэффициент обслуживания. Но с ростом мощности увеличение коэффициента обслуживания затухает, асимптотически приближаясь к постоянной величине порядка 45 – 50 условных единиц обслуживания на одного человека. Кроме коэффициента обслуживания, для измерения производительности труда на электросетевых предприятиях применяется **показатель удельной численности** промышленно-производственного персонала на 1 км протяженности сетей. Этот показатель отличается слишком большой степенью условности, силь-

но зависит от структуры оборудования на сетевых предприятиях и поэтому недостаточно характеризует уровень и динамику эффективности труда.

Использование натуральных измерителей производительности труда, применяемых в энергетике, вызывает, прежде всего, затруднительность обоснованного выбора показателя результата труда. Действительно, установленная мощность электростанции, используемая при расчете штатного коэффициента и играющая роль измерителя результата труда коллектива электростанции, имеет отдаленное отношение к реальному результату труда работников электростанций. Установленная мощность, скорее, характеризует технические условия приложения труда на электростанциях, а не результат деятельности работников этих электростанций.

Штатный коэффициент, так же как и коэффициент обслуживания для сетевых предприятий, характеризует не столько фактическую производительность труда работников этих предприятий, сколько степень технического совершенства созданных или вновь создаваемых энергетических предприятий, если понимать под техническим совершенством объем физических сил природы, приводимых в полезное действие одним работником. Поэтому штатный коэффициент может быть лучше использован как измеритель производительности труда промышленно-производственного персонала электростанций на стадии проектирования. Установленная мощность электростанций мало зависит от деятельности ее работников. Она создается трудом машиностроителей, строительных и строительного-монтажных организаций.

В качестве стоимостного показателя производительности труда в энергетике все же применяют величину валовой продукции в неизменных ценах энергопредприятия, приходящуюся на одного работника, р./(чел.-год):

$$П_{\text{вал}} = (Wg t_{\text{Э}} + Qgt_{\text{Т}} + У_{\text{рем}})/Ч, \quad (11.5)$$

где: Wg – годовой отпуск электроэнергии, кВт·ч/год;

$t_{\text{Э}}$ – неизменный (сопоставимый) тариф на электрическую энергию, р./кВт·ч/год;

Qg – годовой отпуск тепловой энергии для ТЭС, ГДж/год;

$t_{\text{Т}}$ – неизменный тариф на тепловую энергию, р./ГДж;

$У_{\text{рем}}$ – объем ремонтных работ и услуг за год, р./год;

$Ч$ – среднегодовая численность промышленно-производственного персонала.

Недостатком показателей производительности труда, используемых для измерения эффективности живого труда, является то, что все они непосредственно не учитывают качество, сложность труда. Затраты труда

в них учитываются только по количеству работников в год – среднегодовой численности промышленно-производственного персонала (ППП).

Показатель годовой заработной платы ППП значительно полнее учитывает затраты труда работников энергопредприятий, чем среднегодовая численность ППП. Он пропорционален не только количеству работающих, но и объему и качеству их труда. Но показатель эффективности труда, определяемый как отношение годовой чистой продукции энергопредприятия к годовому фонду заработной платы ППП, в энергетике не рассчитывается. Таким образом, нельзя считать, что к настоящему времени в электроэнергетике установлены обоснованные показатели производительности труда, учитывающие в полной мере основные специфические особенности отрасли.

Основной путь повышения эффективности и производительности труда в энергетике – использование достижений научно-технического прогресса. Сюда входит большая группа факторов, связанных с внедрением новой, эффективной техники, технологии, механизации и автоматизации трудоемких процессов, внедрение новой техники управления технологическими и производственными процессами, телемеханизация управления. Но следует подчеркнуть, что только эффективная новая техника повышает реальную народнохозяйственную производительность труда. Слишком дорогая техника, хотя и способствует росту производительности труда в энергетике, в то же время настолько увеличивает затраты труда в фондосоздающих отраслях, что окончательный народно-хозяйственный результат может быть недостаточным или даже отрицательным для внедрения такой техники в энергетическое производство. Поэтому рост производительности труда только в энергетике не может быть критерием для решения вопроса о внедрении новой техники в этой отрасли. Этот вопрос должен решаться для всего топливно-энергетического комплекса с помощью методов технико-экономических обоснований.

11.4. Особенности определения себестоимости в энергетике

Один из основных вопросов в энергетике для экономистов – исчисление себестоимости. Энергия – не вещественный продукт. В отличие от промышленности формирование себестоимости в энергетике имеет ряд особенностей.

1. Себестоимость энергии исчисляет франко-потребитель, т. е. учитываются затраты не только на производство, но и на передачу и распределение энергии. Это обусловлено жесткой и неразрывной связью между производством и передачей энергии.

2. Отсутствие незавершенного производства ведет к тому, что издержки производства за определенный отрезок времени полностью могут быть отнесены к себестоимости произведенной энергии.

3. Значительное влияние режима производства энергии обуславливает необходимость деления затрат на условно-переменные и условно-постоянные. При этом первые пропорциональны объему производства, а вторые мало зависят от режима производства. В результате появляется зависимость производства и распределения энергии от числа часов использования установленной мощности.

4. На величину себестоимости энергии оказывает влияние наличие расходов по содержанию резерва мощности на электростанциях и в электросетях (например, топливо для обеспечения бесперебойности энергообеспечения потребителей).

5. Уровень себестоимости энергии может значительно изменяться по отдельным типам электростанций и энергообъединениям.

Для технико-экономических расчетов, связанных с перспективными оценками затрат, используется классификация по экономическим элементам.

Процентное соотношение экономических элементов в общей сумме издержек представляет их структуру. В отличие от структуры себестоимости продукции в других отраслях промышленности в энергетике не выделяют затраты на сырье и основные материалы.

Структура затрат на производство энергии неодинакова для различных энергетических объектов. Так, для ТЭС наибольший удельный вес имеют затраты на топливо, а для ГЭС – затраты на амортизацию, достигающие более 80 %.

В целом для энергетического производства важнейшими элементами затрат являются затраты на топливо S_T , амортизацию $S_{ам}$, заработная плата $S_{з.п}$ и прочие расходы $S_{пр}$. При проведении сравнительных технико-экономических расчетов на стадии проектных и предпроектных работ нет необходимости определять затраты по всем экономическим элементам. Три элемента затрат – топливо, амортизация и заработная плата – вместе составляют 90 – 93 % от общей суммы затрат. Поэтому суммарные эксплуатационные расходы можно укрупнено выразить следующим образом (р./год):

$$S = S_T + S_{ам} + S_{з.п} + S_{пр}. \quad (11.6)$$

Затраты на топливо:

$$S_T = C_T B = C_T \cdot b_{э} \cdot W_{э}, \quad (11.7)$$

где: C_T – средневзвешенная цена 1 т условного топлива, р./т;

B – годовой расход условного топлива, т/год;

$bэ$ – удельный расход топлива на 1 кВт·ч электроэнергии, г/кВт·ч;
 $Wэ$ – отпуск электроэнергии, кВт·ч.

11.5. Треугольник Гинтера

Для исчисления себестоимости энергии на тепловых электростанциях и в котельных используется множество методов. Один из самых интересных – метод «отключений». Смысл заключается в том, что из суммарных затрат комбинированного производства исключаются затраты на побочные продукты, которые оцениваются по себестоимости их производства или по ценам. В энергетике этот метод нашел отражение при построении треугольника Гинтера (рис. 11.1). На одной стороне треугольника откладывается себестоимость 1 кВт·ч, а на другой – 1 ГДж тепла. Максимальная величина себестоимости 1 кВт·ч будет при $Q_{отп} = 0$ – когда все затраты ТЭЦ относятся на электроэнергию (точка В). Наоборот, при $W_{отп} = 0$ достигается максимум себестоимости отпущенного тепла (точка А). В соответствии с годовыми затратами и строится треугольник. Задавая себестоимостью одного вида энергии ($S'_{тэ}$), можно определить себестоимость другого ($S'_э$).

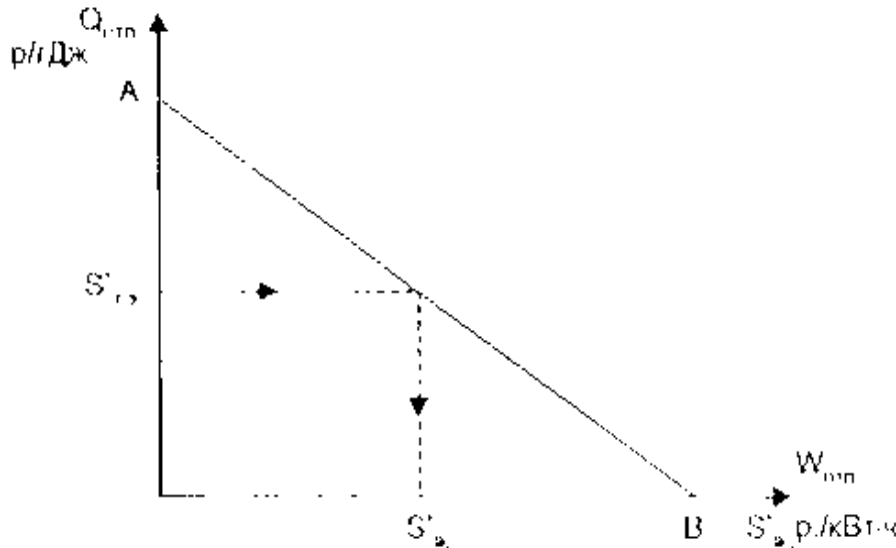


Рис. 11.1. Определение себестоимости электрической и тепловой энергии по методу Гинтера: $S'_{тэ}$ – себестоимость производства единицы тепла в котельной; $S'_э$ – себестоимость единицы электроэнергии; $Q_{отп}$ – количество тепловой энергии, отпускаемой на сторону, ГДж; $W_{отп}$ – количество электрической энергии, отпускаемой на сторону, кВт·ч

11.6. Графики нагрузки, их обеспечение и выравнивание

11.6.1 Графики нагрузки отдельных потребителей и энергосистемы в целом

Производство электрической и тепловой энергии на электростанциях и их потребление различными пользователями – процессы жестко взаимосвязанные. В силу физических закономерностей мощность потребления энергии в какой-либо момент времени должна быть равной генерируемой мощности. В этом заключается специфическая особенность энергетического производства. Практическое применение известных способов аккумуляирования (накопления, складирования) различных видов энергии пока недостаточно распространено.

В то же время работа отдельных приемников (потребителей) электрической и тепловой энергии неравномерна и суммарное энергопотребление также неравномерно во времени. Большинству потребителей требуется электроэнергия и тепловой энергии днем больше, чем ночью, зимой больше, чем летом; существенно различаются режимы энергопотребления в рабочие и выходные дни. Режим потребления электрической и тепловой энергии в течение определенного отрезка времени отражается с помощью графика нагрузки. Итак, график нагрузки – это графическое описание зависимости потребляемой мощности от времени суток, месяца, года (соответственно суточный, месячный и годовой графики нагрузки). Графики нагрузки отдельных потребителей и в целом энергосистемы имеют неравномерный характер.

Суточный график нагрузки района, города, страны складывается из графиков нагрузки множества отдельных потребителей. Характер изменения мощности потребляемой энергии в течение суток различен для разных групп приемников. Самым равномерным энергопотреблением характеризуются крупные промышленные предприятия, использующие непрерывные технологические процессы и/или работающие круглосуточно. Колебания мощности могут быть обусловлены наличием периодических процессов, проведением ремонтов, дневной работой административно-управленческого персонала, необходимостью ночного освещения территории предприятия и т. д. Наименее равномерно используют электроэнергию отдельные бытовые потребители.

Кратковременные включения мощных бытовых электроприборов (электрочайников, печей СВЧ, пылесосов, стиральных машин и т. п.), освещение квартир и интенсивное использование различных приборов в утренние и вечерние часы при практически полном отсутствии энергопотребления в ночное время обуславливают отклонения моментальной потребляемой мощности от

среднесуточной величины в десятки раз. За счет большого количества бытовых приемников, имеющих различные режимы энергопотребления, суммарный график нагрузки жилищно-бытового сектора является более гладким, однако также имеет ярко выраженные минимумы и максимумы.

Пример суточного графика нагрузки, типичного для большого города (без учета промышленных предприятий), приведен на рис. 11.2. На графике имеют место два характерных пика: утром в 8 – 12 часов и вечером в 16 – 20 часов, а также характерный ночной провал нагрузки; при этом пиковая мощность почти на порядок выше мощности, потребляемой городом во время ночного провала нагрузки.

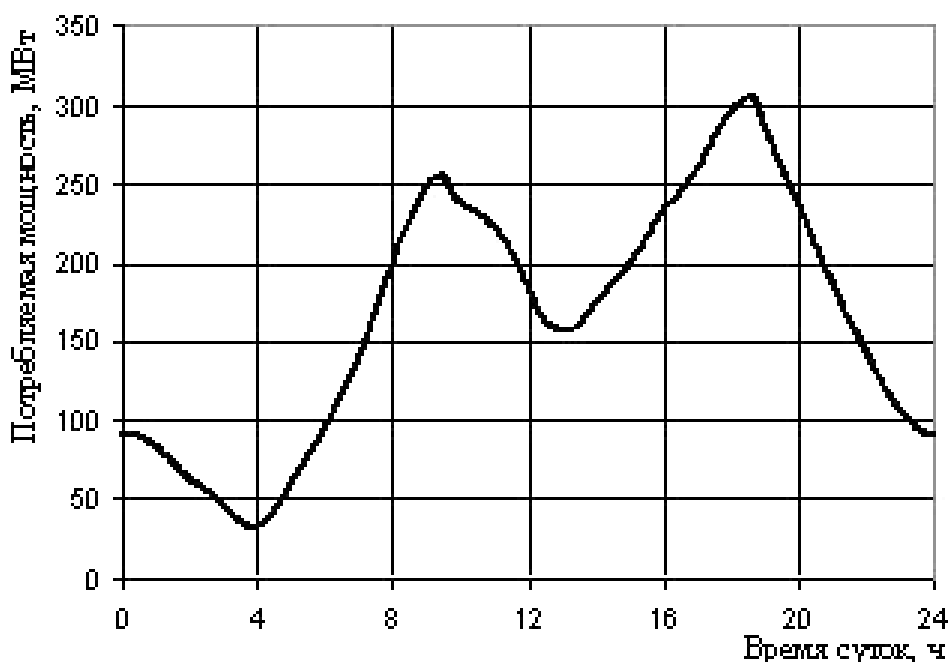


Рис. 11.2. Пример графика потребления электроэнергии в течение зимних суток в большом городе

Из графиков нагрузки всех отдельных потребителей страны складывается так называемая национальная кривая нагрузки, которая за счет значительного и достаточно равномерного потребления энергии в большом городе крупными промышленными предприятиями является более гладкой (характеризуется меньшим относительным изменением мощности в течение суток). В качестве примера на рис. 11.3 представлена фактическая кривая нагрузки для объединенной энергосистемы (ОЭС) Украины. Здесь также присутствуют утренний и вечерний пики и ночной провал нагрузки; величина потребляемой в вечернее время мощности составляет 130 – 140 % от ночного уровня.

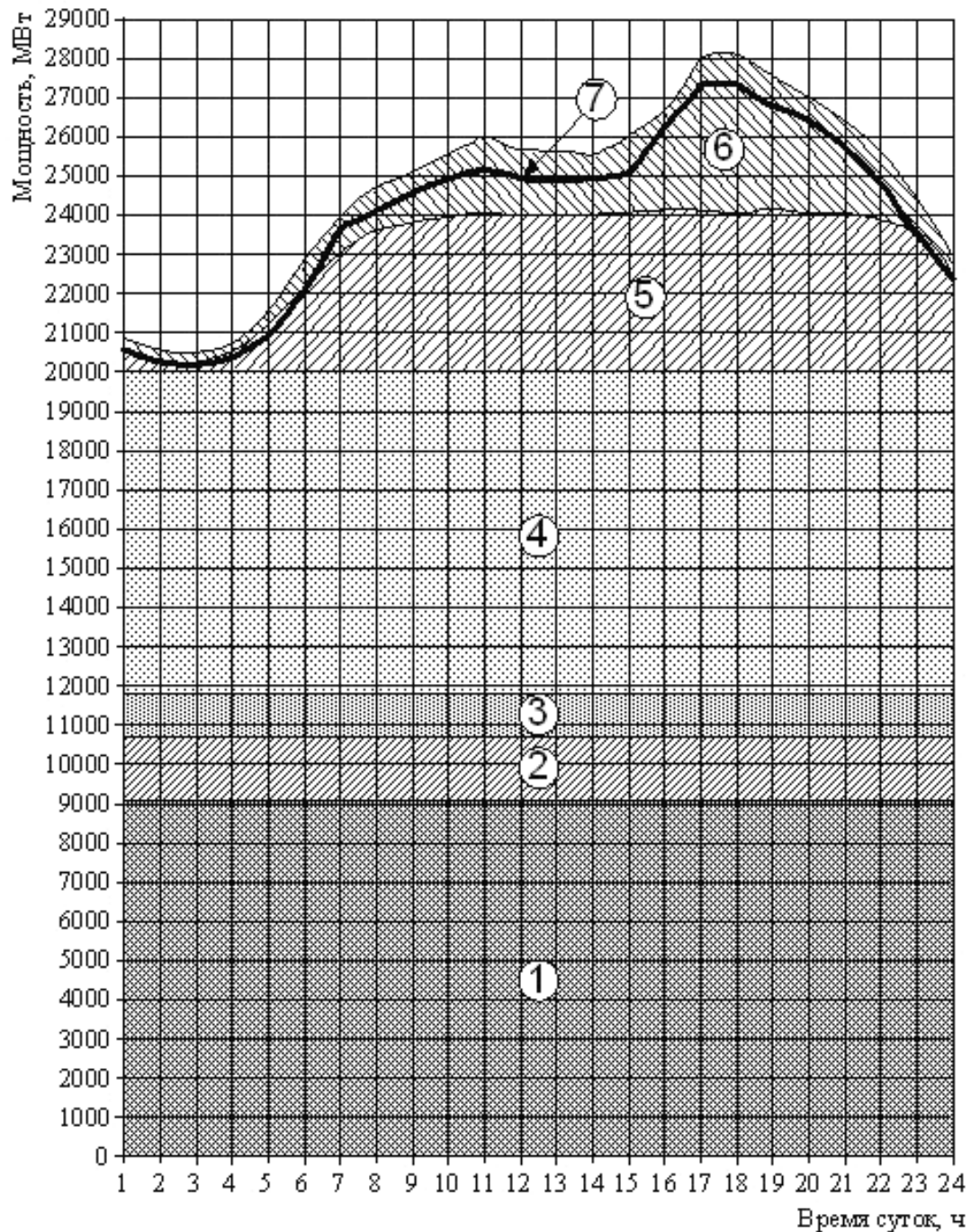


Рис. 11.3. Фактический график базовой и регулирующей мощности в балансе ОЭС Украины за 2 декабря 2002 г.

- 1 – Мощность АЭС (около 9150 МВт);
- 2 – Базовая мощность блокстанций и малых ТЭЦ (около 1500 МВт);
- 3 – Базовая мощность блочных ТЭЦ (около 1150 МВт);
- 4 – Базовая мощность КЭС (около 8250 МВт);
- 5 – Регулирующая мощность блочных ТЭЦ и КЭС (около 4250 МВт);
- 6 – Мощность ГЭС (минимальная 260 МВт, максимальная 3980 МВт);
- 7 – Национальная кривая нагрузки (минимальная и потребляемая мощность 20185 МВт, максимальная 27373 МВт)

Задача энергосистемы страны состоит в обеспечении национальной кривой нагрузки. Непрерывность процесса производства, передачи и потребления электроэнергии, невозможность ее складирования требуют поддержания на электростанциях в каждый момент времени мощности, соответствующей потреблению (с учетом собственных нужд электростанций и потерь на передачу в электросетях) при условии соблюдения графиков межгосударственных перетоков. При несоответствии режимов производства и потребления возникают сбои электропитания: провалы / выбросы напряжения, колебания частоты и т. д., вплоть до полного отключения напряжения. Это приводит к помехам при работе чувствительного оборудования, перегрузкам блоков питания, аварийным отключениям, снижению коэффициента полезного действия, уменьшению ресурса работы или полному выходу из строя электрооборудования и приборов. Примеры суточных колебаний напряжения в сетях 220 Вт приведены на рис. 11.4.

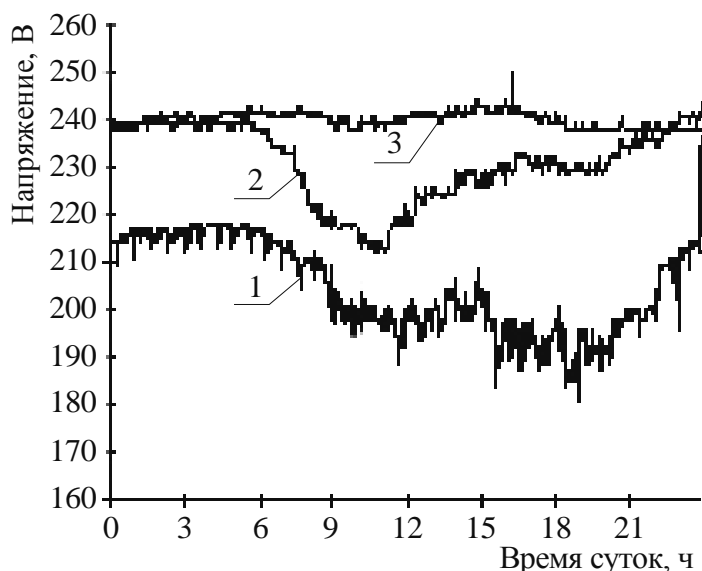


Рис. 11.4. Примеры суточных циклов изменения напряжения в сети

- 1 – Кривая для сети с пониженным напряжением
- 2 – Кривая для сети с повышенным напряжением
- 3 – Кривая для сети с повышенным напряжением (праздничный день)

Кардинально изменить характер потребления электрической и тепловой энергии весьма сложно. Более того, объективно существует тенденция разуплотнения графиков нагрузки, которая обусловлена опережающим ростом коммунально-бытовой нагрузки.

В связи с этим выявляются две важные цели энергетического менеджмента:

- обеспечение графиков нагрузки;
- выравнивание национальной кривой нагрузки.

Одним из условий надежного функционирования энергосистем является точное прогнозирование энергопотребления в целях планирования режимов работы генерирующих мощностей для обеспечения графиков нагрузки и бесперебойного энергоснабжения.

11.6.2 Обеспечение графиков нагрузки

Для обеспечения неравномерных графиков нагрузки энергосистема должна быть достаточно маневренной, то есть способной быстро и в широких пределах изменять мощность вырабатываемой энергии без существенного снижения КПД и ресурса работы генерирующего оборудования.

В большинстве промышленно развитых стран основная часть электроэнергии вырабатывается на ТЭС (в РБ более 90 %), для которых наиболее желателен равномерный график нагрузки. Обычные паровые котлы и турбины тепловых электростанций допускают изменение мощности всего на 10 – 15 %, при этом работа в резко переменном режиме приводит к повышенному расходу топлива, износу теплосилового оборудования и снижению его надежности. Поэтому оптимальным вариантом является использование ТЭС в качестве так называемых базовых электростанций, покрывающих постоянную нагрузку энергосистемы, то есть базовую часть графика нагрузки. Однако в большинстве случаев электростанции этого типа вынуждены выступать и в роли регулирующих мощностей.

Следует отметить, что разные ТЭС характеризуются различной степенью маневренности, которая зависит от вида используемого топлива, единичной мощности и технических характеристик агрегатов, а также степени реализации принципа блочности – разделения электростанции на независимые параллельно работающие системы, которые включают в себя все необходимое оборудование, образующее технологический комплекс для производства электроэнергии. Блочные тепловые электростанции состоят из независимых энергоблоков (котел – турбина – генератор – трансформатор) и являются наиболее маневренными и экономичными. Регулирование их мощности осуществляется ступенчато путем включения / выключения отдельных энергоблоков. Подобный режим целесообразно использовать для обеспечения годового графика нагрузки, когда в летнее время оборудование частично простаивает, а зимой эксплуатируется полностью. При этом отдельные энергоблоки стабильно работают в номинальном режиме с достаточно высоким КПД; негативным эффектом является снижение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ).

При отсутствии в энергосистеме достаточного количества высокоманевренных мощностей потенциал блочных ТЭС используется и для обеспечения суточного графика потребления (см. примеры на рис. 11.2 и 11.5). Однако, по ряду обстоятельств, работа энергоблоков в таком режиме нежелательна. Во-первых, за счет большой длительности стадий пуска / остановки (от часа и более) их доля в общей продолжительности одного рабочего цикла

становится весьма значительной, что приводит к перерасходу топлива и снижению среднего КПД. Во-вторых, за счет увеличения количества циклов быстро накапливается термохимическая усталость металла узлов и деталей, интенсивно изнашивается паросиловое оборудование и регулирующая арматура. В-третьих, существенно снижается величина КИУМ за счет необходимости обеспечения и суточных, и годового графиков нагрузки.

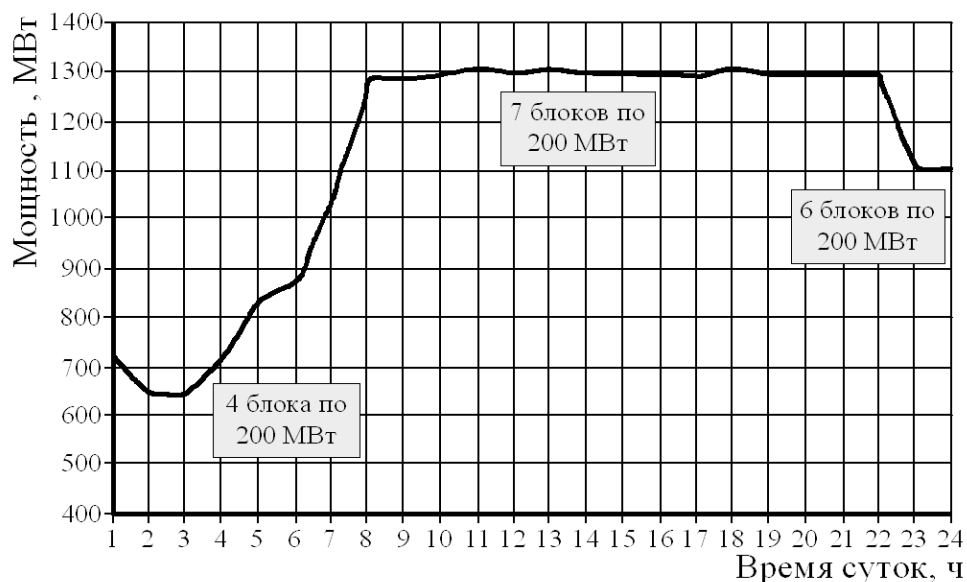


Рис. 11.5. Пример суточного режима работы блочной КЭС

При этом участвовать в покрытии суточных графиков нагрузки способны ТЭС с единичной мощностью блоков до 200 МВт, так как энергоблоки большей мощности (500, 800 МВт и т. д.) не имеют технической возможности обеспечения такого режима работы. ТЭС, имеющие развитые поперечные связи по пару и воде между параллельно работающими агрегатами (котлами, турбинами, конденсаторами и т. д.), также не могут использоваться для суточного регулирования выработки энергии и участвуют по мере собственных технических возможностей и потребностей энергосистемы в обеспечении месячных, сезонных, годовых графиков нагрузки.

Перспективным направлением повышения маневренности ТЭС является внедрение энергоблоков на базе газотурбинных и комбинированных парогазовых установок, которые, по сравнению со стандартными паротурбинными агрегатами, характеризуются значительно меньшей продолжительностью стадий пуска и остановки, а также относительной легкостью регулирования. При этом мощность ГТУ может варьироваться в довольно широких пределах без существенного снижения КПД и ресурса работы оборудования. Определенное повышение маневренности существующих

мощностей достигается при внедрении современных автоматических систем управления технологическим процессом (АСУТП), которые за счет четкого оперативного регулирования технологического режима позволяют сократить время пуска, расширить диапазон устойчивой эффективной работы оборудования, снизить расход топлива.

Еще более нежелательны переменные режимы для атомных электростанций. Энергоблоки АЭС могут работать только в базовом режиме генерации и не способны обеспечить мобильный резерв мощности в энергосистеме. По скорости сброса нагрузки и самому уровню рабочей нагрузки особых ограничений нет, однако ее подъем осуществляется очень медленно, ступенями с выдержкой по времени на каждой ступени для предотвращения «разбухания» топлива. Число разгрузок блоков ограничено, и предусмотрены они в основном для плановых и аварийных сбросов нагрузки или остановок блоков при повреждении оборудования. Допустимое число режимных разгрузок энергоблоков АЭС обычно колеблется от 0 до 6. Перечисленные технические ограничения обусловлены тем, что топливный цикл реакторов атомных станций основан на использовании низкообогащенного уранового топлива. В настоящее время активно изучаются возможности и целесообразность участия АЭС в покрытии годовых графиков нагрузки за счет изменения числа и мощности работающих блоков, расписания плановых ремонтов и операций по перегрузке ядерного топлива с целью переноса их на летний период и т. д.

С точки зрения маневренности привлекателен российский проект подземных атомных электростанций (ПАТЭС). Применение реакторов корабельного типа (топливный цикл основан на использовании высокообогащенного урана) обеспечивает отслеживание мощности в диапазоне от 5 до 100 % от номинального уровня станции и допускает очень высокую, вплоть до 1 % в секунду, скорость маневрирования, что позволяет легко адаптироваться к любому графику внешней нагрузки по электрической и тепловой энергии. В связи с отсутствием в РБ достаточного количества маневровых мощностей анализируется вопрос строительства ПАТЭС около Минска для электро- и теплоснабжения столицы и некоторого повышения маневренности отечественной энергосистемы. В отдаленной перспективе с целью снижения зависимости республики от поставок природного газа и затрат на производство электрической и тепловой энергии возможно сооружение таких электростанций вблизи других крупных городов.

ГЭС являются наиболее маневренными из традиционных типов электростанций, набор полной мощности от нуля осуществляется всего за

1-2 минуты. Рабочая мощность гидравлических электростанций может изменяться в широких пределах за счет практически мгновенного автоматического запуска и отключения требуемого количества агрегатов. Поэтому, в зависимости от потребностей энергосистемы, ГЭС используются или в качестве регулирующих мощностей, обеспечивая покрытие запланированного графика нагрузки (см. рис. 5.4), или в качестве резервных мощностей на случай аварий на других электростанциях, непредусмотренных отклонений потребления от прогнозной кривой нагрузки и т. п. К недостаткам данного типа электростанций следует отнести то, что режим работы и возможность использования конкретной ГЭС в покрытии графика нагрузки непостоянны во времени и изменяются в зависимости от неуправляемых природных факторов: характерного периода года, объемов паводка и притоков, то есть обеспеченности гидроресурсами и т. д.

Обеспечение достаточной для покрытия существующих графиков нагрузки маневренности энергосистемы достигается путем оптимизации структуры генерирующих мощностей, то есть рационального выбора числа, видов и установленной мощности различных электростанций. Поиск такой структуры является одной из конкретных задач энергоменеджмента, успешное решение которой позволяет наладить надежное энергоснабжение при минимальных энергетических и капитальных затратах.

Еще одним важным фактором обеспечения графиков нагрузки, повышения надежности энергообеспечения и экономии энергоресурсов является интеграция национальных электроэнергетических систем в крупные транснациональные энергообъединения. Совместный режим работы позволяет осуществлять ряд мероприятий по оптимизации использования топливно-энергетических ресурсов и создает условия для взаимовыгодных отношений между странами.

В условиях параллельной работы энергосистем становится реальным осуществление обмена электроэнергией между регионами и государствами с разными поясами времени. При этом за счет смещения пиков и провалов национальных кривых относительно друг друга во времени суммарный график нагрузки транснационального энергообъединения несколько уплотняется, что приводит к улучшению условий работы и снижению удельного расхода топлива на электростанциях, используемых в качестве регулирующих мощностей. Суммарная пиковая мощность обобщенного графика нагрузки меньше, чем сумма пиковых мощностей отдельных графиков из-за несовпадения пиков нагрузки в отдельных энергосистемах во времени. Это приводит к уменьшению инвестиционной составляющей в себе-

стоимости электроэнергии за счет более полного использования установленных мощностей электростанций.

В 1992 году главы правительств государств СНГ подписали «Соглашение о координации межгосударственных отношений в области электроэнергетики Содружества Независимых Государств». Основной целью соглашения стало проведение совместных скоординированных действий, направленных на обеспечение устойчивого и надежного энергоснабжения экономики и населения государств на основе эффективного функционирования объединенных энергетических систем. В результате проводимых мероприятий одиннадцать из двенадцати национальных энергосистем государств Содружества (кроме энергосистемы Армении) включены в совместную параллельную работу. Благодаря этому наметился рост количественных и улучшение качественных показателей работы электроэнергетики, произошла определенная стабилизация в отрасли. Стратегически важным вопросом является интеграция электроэнергетики СНГ с Трансъевропейской синхронной объединенной электроэнергетической системой стран Западной, Центральной и Юго-Восточной Европы (TESIS). Для этого сегодня имеется определенная техническая база: неработающие или используемые со значительной недогрузкой межгосударственные линии электропередачи, соединяющие СНГ со странами дальнего зарубежья, достаточный резерв генерирующих мощностей в странах Содружества.

Комплексное применение рассмотренных подходов и мероприятий позволяет обеспечить надежное стабильное покрытие существующих потребностей в энергии. Но при приложении усилий только с генерирующей стороны невозможно достичь высокой экономической эффективности функционирования системы в целом. Во-первых, количество электростанций в энергосистеме и их установленная мощность определяются относительно непродолжительным максимумом кривой нагрузки, что приводит к недоиспользованию оборудования и удорожанию энергосистем. Во-вторых, работа в переменных режимах повышает удельный расход топлива и износ оборудования. Следствием является значительный рост себестоимости вырабатываемой электрической и тепловой энергии. Интеграция национальных энергетических систем в транснациональные энергообъединения лишь частично решает существующие проблемы, так как передача больших количеств электроэнергии на значительные расстояния сопряжена с определенными затратами и сопровождается потерями самой электроэнергии.

Обязательным условием устойчивого развития энергетической отрасли и экономики в целом является разработка, реализация и постоянное

совершенствование политики управления спросом на энергию. Причем для управления энергопотреблением и выравнивания национальной / региональной кривой нагрузки могут и должны использоваться как социально-экономические, так и технические мероприятия и средства.

Эффективной технической мерой выравнивания графиков нагрузки служит аккумулятирование различных видов энергии. Идея заключается в том, что в часы пониженного потребления следует запасть вырабатываемую энергию, а в часы пикового потребления использовать ее. Внедрение технологий и устройств аккумулятирования является второй задачей энергоменеджмента в решении проблемы несоответствия режимов производства и потребления энергии.

11.6.3 Аккумулятирование энергии

Существует ряд технических систем, позволяющих накапливать различные виды энергии:

- механические системы аккумулятирования энергии;
- электрические системы аккумулятирования энергии;
- химические системы аккумулятирования энергии;
- аккумуляторы тепловой энергии.

В «большой» энергетике пока применяются только *механические системы аккумулятирования энергии*, в первую очередь, гидроаккумулятирующие электростанции (ГАЭС).

Схема гидроаккумулятирующей станции показана на рис. 11.6. Принцип действия заключается в преобразовании электрической энергии, получаемой от электростанций других типов, в потенциальную энергию воды; при обратном преобразовании накопленная энергия выдается в энергосистему.

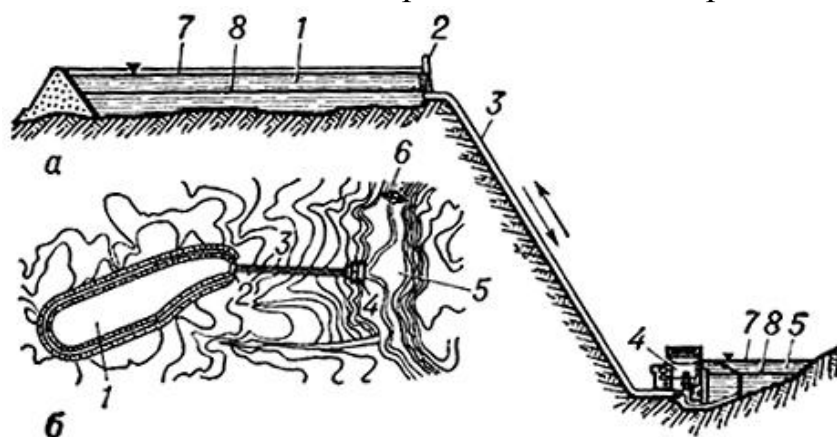


Рис. 11.6. Схема ГАЭС (а — вертикальный разрез; б — план): 1 — верхний аккумулятирующий бассейн; 2 — водоприемник; 3 — напорный водовод; 4 — здание ГАЭС; 5 — нижнее питающее водохранилище; 6 — плотина с водосбросом; 7 — нормальный подпорный уровень воды; 8 — уровень сработки

Гидротехнические сооружения ГАЭС состоят из двух бассейнов, расположенных на разных уровнях, и соединительных трубопроводов – водоводов. Бассейны могут создаваться искусственно или иметь естественное происхождение (озера, реки). Нижним бассейном нередко служит водоем, образовавшийся вследствие перекрытия реки плотиной.

Гидроагрегаты, установленные в здании ГАЭС, могут быть трехмашинными, состоящими из обратимой электрической машины (двигатель-генератор), гидротурбины и насоса, или двухмашинными, состоящими из обратимой электромашины и обратимой гидромашины, которая в зависимости от направления вращения может работать как насос, либо как гидротурбина.

Избыток электроэнергии, вырабатываемой недогруженными электростанциями во время пониженного энергопотребления, используется работающими в насосном режиме гидроагрегатами ГАЭС для перекачки воды из нижнего бассейна в верхний, аккумулирующий бассейн. В периоды пиковой нагрузки в энергосистеме гидроагрегаты работают в генераторном режиме и производят электроэнергию за счет преобразования механической энергии движущейся под действием силы тяжести воды.

Вырабатываемая электроэнергия отдается в сеть, а вода снова накапливается в нижнем бассейне. Емкость ГАЭС как аккумулятора энергии определяется объемом бассейнов и рабочим напором (разницей уровней верхнего и нижнего бассейнов). Общий КПД ГАЭС в оптимальных расчетных условиях работы приближается к 80 %; в реальных условиях с учетом потерь в электрических сетях значение КПД лучших станций не превышает 70 %. Наиболее экономичны мощные ГАЭС, с напором в несколько сотен метров, сооружаемые на скальном основании.

Естественные перепады местности на территории Беларуси позволяют сооружать станции с небольшим напором 80 – 110 м. Важным достоинством ГАЭС является высокая эксплуатационная маневренность. Вывод гидроагрегатов из остановленного состояния на номинальную мощность осуществляется за 1 – 1,5 мин; при вращении агрегатов на холостом ходу продолжительность включения в нормальную работу едва превышает 10 секунд. Еще одной ценной характеристикой ГАЭС является широкий регулировочный диапазон, который, согласно самому принципу ее работы, близок к двукратной установленной мощности. Собственно мощность ГАЭС может быть очень велика и для ряда станций превышает 1 ГВт. Уникальные возможности ГАЭС позволяют не только использовать их для аккумулирования энергии, но и возлагать на них ряд системных функций.

Наиболее целесообразным и распространенным является размещение ГАЭС в центре нагрузок энергосистемы, что позволяет свести к минимуму строительство электросетей и потери энергии при транспортировке. Однако порой сочетание природных условий и хозяйственной деятельности создает уникальные условия для образования энергетического комплекса с совместным использованием технологических объектов основных генерирующих электростанций (АЭС, ТЭС, ГЭС) и ГАЭС.

Первая гидроаккумулирующая станция была сооружена в Италии еще в начале XX века; сейчас во всем мире эксплуатируются сотни ГАЭС. Особенно широкое применение они получили в странах с развитой ядерной энергетикой. Так, в частности, во Франции мощность гидроаккумулирующих станций составляет около 10 %, а в Японии около 30 % от совокупной мощности работающих в этих странах АЭС.

Также не нова идея запастись энергией в виде внутренней энергии сжатых газов, например, воздуха. Принцип работы воздухоаккумулирующей станции состоит в следующем: «внепиковая» электроэнергия используется для привода компрессора, нагнетающего воздух из атмосферы в подземную полость; при работе в генераторном режиме сжатый воздух направляется на турбину и после расширения возвращается в атмосферу, а полученная электроэнергия отдается в сеть энергосистемы. В качестве подземной емкости для воздуха может использоваться естественная пещера, заброшенная шахта или специально созданная полость. В Германии уже имеется опыт эксплуатации подобной установки. Общий КПД воздухоаккумулирующей станции при современном уровне техники и технологий может достигать 70 %. Возможно комбинирование таких систем с газотурбинными установками для создания мощных энергоэффективных электростанций с широким регулировочным диапазоном.

Еще одной механической системой являются маховые колеса (супермаховики).

Принципиально воздухоаккумулирующие станции обладают теми же преимуществами, что и ГАЭС

11.7. Экономическая и тарифная политика в энергетике

Экономическая и тарифная политика реализуется в целях создания условий для поступательного развития ТЭК, своевременного ввода новых мощностей и модернизации старых, бесперебойного снабжения потребителей всеми видами энергии и соблюдения баланса интересов производителей и потребителей энергии.

В практике всех промышленно развитых стран при формировании цен на энергию используется затратный метод (цена равна себестоимости плюс норма прибыли).

Тарифообразование в Республике Беларусь также строится на затратном принципе формирования цены на энергию, однако в промышленно развитых странах, в отличие от существующей у нас практики, в издержки производства включаются не только инвестиции, но и проценты на капитал (у нас – это расходы за счет прибыли).

Следует отметить, что в промышленно развитых странах, как правило, источником развития энергетики являются заемные средства, кредиты, акционерный капитал.

В состав цены включаются также отчисления в различные целевые фонды (на НИОКР, энергосбережение, функционирование энергетических комиссий и т. д.).

В странах с высокоразвитой экономикой и избыточными энергосистемами государству нет необходимости регулировать величину каждого элемента затрат. Анализ и оценка деятельности энергокомпаний производится по общей стоимости энергии, так как в стране есть выбор производителей и государство делает этот выбор экономическими методами: налогами, кредитами и т. д. Кроме того, у большинства потребителей есть выбор энергоносителей, следовательно, в странах с рыночной экономикой основным движущим механизмом снижения затрат является конкуренция производителей, в том числе, и в энергетике.

Во всех промышленно развитых странах тарифы дифференцируются по группам потребителей в зависимости от издержек на производство, передачу и распределение энергии, поскольку энергообеспечение потребителей, подключенных к высоковольтному напряжению, сопряжено с меньшими издержками, чем энергообеспечение низковольтных потребителей, например, коммунально-бытового сектора.

Тарифы на теплоэнергию также дифференцируются: во-первых, по видам теплоносителя (пар, горячая вода); во-вторых, по параметрам; удаленности от источника теплоснабжения и другим признакам.

В Республике Беларусь для расчетов с потребителями применяются одно- и двухставочные тарифы.

Одноставочные используют для расчетов с населением, государственными учреждениями, маломощными промышленными потребителями (мощностью до 7540 кВт), сельским хозяйством, электрифицированным

транспортом. Размер платы определяется как произведение цены за единицу энергии на общее потребленное ее количество за данное время:

$$П = T_{ээ} \mathcal{E}_{нотр}, \quad (11.8)$$

где: $T_{ээ}$ – тариф на электроэнергию, р./кВт-ч;
 $\mathcal{E}_{нотр}$ – объем потребленной энергии, кВт-ч.

Недостаток одноставочного тарифа – экономическая незаинтересованность потребителей в выравнивании графика за счет снижения пиков нагрузки, что облегчит условия работы и улучшит экономические показатели энергосистемы в целом.

Поэтому важно стимулировать снижение пиков нагрузки у потребителей и выравнивание графика, т. е. уменьшать затраты на покупку электроэнергии у других энергосистем. Достоинство этого тарифа: прост, понятен абонентам, минимум измерительных приборов – используется счетчик активной энергии.

Двухставочный тариф состоит из двух частей основной ставки за 1 кВт мощности, участвующей в максимуме нагрузки энергосистемы, и дополнительной – за 1 кВтч потребленной энергии, как при расчетах по одноставочному тарифу. Плата равна:

$$П = a P_m + в \mathcal{E}_{нотр}, \quad (11.9)$$

где: a – ставка максимума нагрузки, р./кВт;
 P_m – максимум нагрузки;
 $в$ – ставка за 1кВт ч потребленной активной энергии, р./кВт-ч;
 $\mathcal{E}_{нотр}$ – энергия, потребленная и учтенная по счетчику, кВт-ч.

Такой тариф экономически поощряет потребителей к снижению мощности и максимума нагрузки за счет уплотнения и выравнивания их графиков, но при этом усложнены расчеты с потребителем.

Тарифы на тепловую энергию по своему экономическому содержанию аналогичны тарифам за электроэнергию. Они дифференцированы по энергосистемам и по качеству тепловой энергии, определяемому параметрами теплоносителей (давление, температура) и являются одноставочными.

Недостатки всей системы тарифообразования:

1) связь между прибылью энергосистемы и уровнем энергопотребления (система должна иметь механизм, который устранял бы заинтересованность энергосистемы продавать как можно больше энергии);

2) оплата энергии некоторыми группами потребителей по цене ниже себестоимости, что приводит к неоправданному увеличению потребления

энергии и, кроме того, превышению реальной цены энергии для других групп (в частности, промышленных предприятий), что учитывается в стоимости продукции, а значит, отражается на жизненном уровне людей.

Есть недостатки и в структуре самих тарифов. Это, в первую очередь, недифференцированность их по времени суток, тогда как в развитых странах (США, Франция, Англия и др.) тарифы дифференцированы не только по часам суток, но и по сезонам, декадам месяца. Удобны тарифы, предусматривающие перерывы в электроснабжении. Потребители, использующие их (крупные промышленные предприятия) идут на снижение надежности электроснабжения в обмен на снижение тарифной ставки за максимум нагрузки. Так, применение тарифов, различных по зонам суток, позволяет сберечь 5 – 10 % энергии. Они стимулируют потребителей снижать нагрузку в часы максимума нагрузки энергосистемы и заполнять ночные провалы нагрузки.

Для удобства сравнения цены приведены в центах (США) за 1 кВтч.

США

Источник информации – Национальная комиссия по регулированию энергетики (США)

Сектор потребления	Цена
Население	8.1
Бизнес	7.6
Промышленность	4.7
Транспорт	5.5
Генерация	4.2
Передача	0.6
Распределение	2

Для американского рынка электроэнергии характерно наличие множества независимых производителей. Свои тарифы не только в каждом штате, но и у каждой фирмы.

Франция

Источник информации – Electricity de France (Энергосистема Франции)

Время суток	Население	Промышленность
Абонемент	7.31	9.97
Пиковые часы	8.42	9.81
Не пиковые часы	4.79	4.79

Действует интересная система сезонных скидок. В Австралии также существует абонементная система оплаты, которая позволяет снизить стоимость электроэнергии.

Латвия

Источник информации – ЛатвЭнерго

Время суток	Установленная мощность			
	Население	менее 60 кВт	60 - 400 кВт	более 400 кВт
Часы пик	–	–	–	8.45
День	5.93	6.61	6.13	5.63
Ночь	4.15	4.63	4.29	3.94

Цены для потребителей имеющих нагрузку ввода электроэнергии 6, 10, 110 кВт существенно ниже.

В Германии сутки разделены на пять зон, для каждой из которых свой тариф. У нас, к сожалению, нет соответствующих приборов учета и контроля.

Учитывая схожесть структур по управлению ТЭК в прошлом, а также в целом перспективу сотрудничества Республики Беларусь с Российской Федерацией, представляет интерес российский опыт.

Россия

Источник информации – РАО ЕС России

Население	Промышленность
0.93	1.48

В России создана нормативная база государственного регулирования энергетикой, в соответствии с которой тарифы на электрическую и тепловую энергию, поставляемую предприятиям независимо от организационно-правовых форм, подлежат государственному регулированию. В законах изложены основные принципы государственного регулирования тарифов.

Применение тарифов, различных по зонам суток, так называемых зонных тарифов, позволяет сократить энергопотребление на 5 – 10 %, так как стимулирует потребителей снижать нагрузку в часы максимума ЭС и заполнять ночные провалы нагрузки (рис. 11.7).

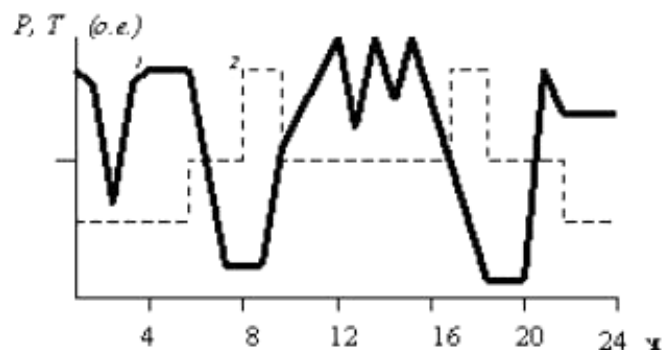


Рис. 11.7. Суточное электропотребление (1) и тариф, дифференцированный по времени суток (2), для электрометаллургического завода в Германии

В ряде стран используются тарифы, предусматривающие перебои в электроснабжении. Потребители, применяющие их, в основном крупные и достаточно безопасные промышленные предприятия идут на снижение надежности электроснабжения в обмен на уменьшение тарифной ставки за максимум нагрузки.

11.8. Ценообразование в ТЭК Республики Беларусь

С осени 1996 г. в нашей республике введены зонные тарифы по электроэнергии как альтернативные для предприятий, использующих двухставочный тариф. Согласно этим тарифам, плата устанавливается только за потребленную энергию, но в зависимости от времени потребления в течение суток: для ночных часов тариф имеет коэффициент 0,6 относительно базовой ставки, для дневных часов или часов полупика – 1,15, а для часов пика – 2,05. По сравнению с одноставочным и двухставочным тарифами зонный тариф более точно отражает реальный график энергопотребления и позволяет снизить суммарные затраты ЭС и потребителей. Планируется перевод на зонные тарифы большинства промышленных предприятий.

Для этого необходима модернизация системы учета энергопотребления, то есть установка электросчетчиков, позволяющих отслеживать и регистрировать потребление энергии по тарифным зонам. Это микропроцессорные, полностью электронные приборы. Эти счетчики по своим внутренним часам осуществляют переключение тарифных зон в соответствии с заданным расписанием. В приборах предусмотрена возможность автоматического перехода на летнее и зимнее время. Учет электроэнергии по тарифным зонам осуществляется соответственно, по летнему или зимнему времени. Имеется возможность задания режимов выходных и праздничных дней, что тоже выгодно энергопотребителям, если в указанные дни используется льготный тариф по отношению к рабочим дням. Вся коммерческая информация снимается непосредственно с жидкокристаллического индикатора счетчика, считывается по оптическому порту счетчика или по цифровому интерфейсу.

В настоящее время ценообразование в ТЭК Республики Беларусь происходит следующим образом.

Электрическая энергия отпускается в республике по регулируемым Минэкономики единым тарифам, дифференцированным по группам потребителей.

Тепловая энергия отпускается по государственным регулируемым тарифам, дифференцированным по областям и группам потребителей.

Регулирование тепловой энергии производится облисполкомами и Минским горисполкомом по представлению областных производственных объединений и региональных энергетических комиссий.

В основу образования цены положены полные текущие издержки производства, необходимая прибыль энергообъединения, формируемая на основе планируемых объемов капитального строительства в расчетном периоде, и всех видов налогов, взимаемых в соответствии с законодательством Республики Беларусь о налогообложении с хозяйственных субъектов (без каких-либо льгот для энергетики).

Дифференциация тарифов по потребителям выполнена, в основном, по их отраслевой принадлежности.

Пересмотр тарифов на энергию и введение поправочных коэффициентов к тарифам на нее производится по мере изменения общих экономических условий (цены поставляемого топлива, сырья, материалов, оборудования, запасных частей, покупной энергии, при повышении заработной платы и изменении стоимости оказываемых энергетическими предприятиями услуг против тех значений, которые были учтены при утверждении действовавших до настоящего момента тарифов на энергию).

За период действия единых тарифов на энергию выявились основные недостатки существующей тарифной политики.

Прежде всего, это ее выраженная социальная направленность. Действующие тарифы для населения на электроэнергию и на тепло до сих пор не возмещают себестоимость их производства. Вся разница в виде перекрестного субсидирования перекладывается на тариф для промышленных потребителей.

Перекосы в ценообразовании привели к тому, что соотношение между тарифами для населения и себестоимостью производства и распределения энергии было нарушено. В результате сегодня мы имеем так называемое перекрестное субсидирование, о котором отмечалось ранее и из-за которого отечественные предприятия теряют конкурентоспособность на современном рынке товаров.

В последние годы из-за спада промышленного производства наблюдалась тенденция снижения удельного веса промышленности в общем потреблении тепловой энергии, что в свою очередь привело к увеличению перекрестного субсидирования за счет промышленности. Однако в последнее время ситуация улучшается.

Кроме перекрестного субсидирования населения, на размер тарифа для промышленности оказывает влияние перекрестное субсидированное

других льготных групп потребителей, теплоэнергия которым отпускается по тарифу ниже себестоимости: больничным учреждениям Минздрава; теплично-парниковым хозяйствам и др.

Действующая система тарифообразования нуждается в совершенствовании.

Контрольные вопросы

1. Что такое «надежность» вообще, и, в частности, в энергетике?
2. Что такое «работоспособность» объекта?
3. Что такое «отказ» объекта?
4. Какие характеристики электрической энергии Вам известны?
5. Какой показатель качества электрической энергии является основным?
6. Чему равен предел отклонения частоты электрической энергии современных крупных автоматически регулируемых энергетических системах СНГ?
7. К каким последствиям приводит снижение частоты электрической энергии?
8. Как измеряется отклонение фактического значения напряжения U и номинального его значения U_N ?
9. На какие характеристики электрических изделий влияет изменение частоты электрической энергии от номинальной?
10. Как влияет изменение электрического напряжения на работу электрических изделий?
11. Что такое «выработка» электрической энергии?
12. Почему такой способ измерения производительности труда нельзя признать удовлетворительным?
13. Что такое «штатный коэффициент» электростанций?
14. Приведите и поясните формулу измерения штатного коэффициента электростанций.
15. Что такое коэффициент обслуживания?
16. Что принимается за единицу обслуживания?
17. Какие показатели принимаются в качестве стоимостного показателя производительности труда в энергетике?
18. Что определяет франко-потребитель в энергетике?
19. Какие показатели оказывают влияние на величину себестоимости энергии?

20. Напишите и объясните формулу трех элементов затрат (топливо, амортизация и заработная плата) влияющих на величину себестоимости в энергетике?

21. Объясните график потребления электроэнергии в течение зимних суток в большом городе (см. рис. 11.2)?

22. Объясните фактический график базовой и регулирующей мощности в балансе ОЭС Украины (см. рис. 11.3)?

23. Объясните суточный режим работы блочной КЭС (см. рис. 11.4)?

24. Нарисуйте план аккумулирующей электростанции и объясните ее работу?

25. На каком принципе строится тарифообразование в Республике Беларусь на электрическую энергию?

26. Каким образом дифференцируются тарифы на электрическую энергию?

27. Каким образом дифференцируются тарифы на теплоэнергию?

28. Какие тарифы применяют в Республике Беларусь для расчетов с потребителями электрической энергии?

29. Что такое одноставочные тарифы? Приведите формулу и дайте пояснения.

30. Недостаток одноставочного тарифа?

31. Что такое двуставочные тарифы? Приведите формулу и дайте пояснения.

32. Недостаток двуставочного тарифа?

33. Назовите недостатки всей системы тарифообразования?

34. Приведите тарифы предусматривающие перерывы в электроснабжении: США, Франции?

35. Приведите тарифы в электроснабжении Латвии?

36. Приведите тарифы в электроснабжении России?

37. Что такое зонные тарифы на энергоснабжение?

38. Каким образом производится расчет цены и оплата за электрическую энергию в Республике Беларусь?

39. Каким образом производится расчет цены и оплата за тепловую энергию в Республике Беларусь?

40. Что такое – перекрестное субсидирование населения?

РАЗДЕЛ № 12. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В Республике Беларусь отсутствуют значимые запасы нефти и газа. Торф, бурые угли, сланцы – не могут быть широко использованы по экологическим и экономическим причинам. Национальная политика республики диктует требования по обеспечению энергетической безопасности страны. Республика Беларусь не может находиться в топливно-энергетической зависимости от стран обладающих большими запасами ТЭР. За основу своей энергетической политики необходимо брать пример стран Европы, Японии, США, которые широко внедряют в свою экономику нетрадиционные и альтернативные источники энергии. В этих странах разработаны и выполняются программы по отказу от использования нефти и газа к 2015 – 2020 гг. Франция предложила программу по превращению пустыни Сахары в развитую сельскохозяйственную территорию путем установки на всей ее площади солнечных электростанций. Часть полученной энергии планируется использовать для обводнения Сахары, другая часть будет передаваться по проводам в Евросоюз. Япония планирует к 2020 г. получать электрическую энергию из космоса, используя космические станции, преобразующие солнечный свет в сверхчастотное излучение, которое будет направлено на приемные станции Земли. США приняло программу по отказу от нефтепродуктов и по переводу экономики на нетрадиционные и альтернативные источники энергии.

Республика Беларусь, в соответствии с программой по энергосбережению энергично вводит в свою экономику «местные» энергетические ресурсы. Современное положение в обеспечении республики топливно-энергетическими ресурсами потребовало разработку законодательных актов Республики Беларусь по вопросам энергосбережения.

12.1. Законодательные акты Республики Беларусь по вопросам энергосбережения

Правовую основу деятельности в области энергосбережения составляют следующие законодательные акты Республики Беларусь:

1. Закон Республики Беларусь от 15 июля 1998 г. № 190-З «Об энергосбережении» (в ред. Закона Республики Беларусь от 20.07.2006 № 162-З).
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 2 февраля 2006 г. № 137 «О Республиканской программе энергосбережения на 2006 – 2010 годы».

3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23 февраля 2006 г. № 255 «О мероприятиях по выполнению в 2006 году государственной комплексной программы модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006 – 2010 годах».

4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 ноября 2005 г. № 1290 «Об утверждении плана основных мероприятий по реализации концепции энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь».

5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 11 ноября 1998 г. № 1731 «Об утверждении положения о порядке разработки и выполнения республиканских отраслевых и региональных программ энергосбережения» (в ред. постановлений Совмина от 17.03.2004 № 302, от 16.03.2006 № 353).

6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 октября 2004 г. № 1301 «Об утверждении положения о порядке проведения экспертизы программ и мероприятий по энергосбережению».

7. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512 «Об утверждении перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006 – 2010 годы».

8. Постановление Министерства экономики Республики Беларусь, Министерства энергетики Республики Беларусь, Комитета по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь от 24 декабря 2003 г. № 252/45/7 «Об утверждении инструкции по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий».

9. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2004 г. № 1680 «Об утверждении целевой программы обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 года».

10. Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства».

11. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433.

12. Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования собственных топливно-энергетических ресурсов на период до 2010 года, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 15 ноября 2007 г. № 575.

12.2. Стандарты в области энергосбережения

В соответствии с Республиканской программой энергосбережения на 2006 – 2010 гг. научно-производственным республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС) разработаны стандарты в области энергосбережения:

- СТБ 1770 – 2007 «Термины и определения»;
- СТБ 1771 – 2010 «Энергопотребляющее оборудование»;
- СТБ 1772 – 2010 «Методы подтверждения соответствия показателей энергоэффективности»;
- СТБ 1773 – 2010 «Показатели энергоэффективности»;
- СТБ 1774 – 2010 «Энергетический паспорт потребителя ТЭР»;
- СТБ 1775 – 2010 «Классификация показателей»;
- СТБ 1776 – 2010 «Энергетическое обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов»;
- СТБ 1777 – 2010 «Системы управления энергосбережением. Требования».

Стандарты предназначены организациям (СТБ 1770 – СТБ 1775) для создания системы управления энергосбережением (СТБ 1777 – 2010), а также, для энерго-аудиторов, проводящих энергетическое обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов (СТБ 1776 – 2010).

12.3. Основные направления политики энергосбережения в Республике Беларусь

Нормативно-правовая база энергосбережения является одним из основных механизмов повышения эффективности использования ТЭР, и в Республике Беларусь она создана. В ее основе лежит Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении». В развитие его правительством и другими республиканскими органами управления принято более 35 нормативно-технических документов, регулирующих деятельность юридических и физических лиц по эффективному использованию ТЭР и другим вопросам, связанным с реализацией государственной энергосберегающей политики. Кодексом Республики Бела-

речь об административных правонарушениях предусмотрена административная ответственность за нерациональное использование ТЭР.

Принятым в 1998 г. Законом Республики Беларусь «Об энергосбережении» (15 июля 1998 г. № 190-3) регулируются отношения, возникающие в процессе деятельности юридических и физических лиц в сфере энергосбережения в целях повышения эффективности использования ТЭР, и установлены правовые основы этих отношений. В нем подчеркнуто, что энергосбережение является приоритетом государственной политики в решении энергетической проблемы в Республике Беларусь, и установлено, что объектами отношений в сфере энергосбережения являются физические и юридические лица (пользователи и производители ТЭР) осуществляющие следующие виды деятельности:

- добычу, переработку, производство, транспортировку, хранение, использование и утилизацию всех видов ТЭР;
- производство и поставку энергогенерирующих и энергопотребляющих оборудования, машин, механизмов и материалов, а также приборов учета, контроля, регулирования расходов ТЭР;
- проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ (НИОКР), экспертных, специализированных, монтажных, наладочных, ремонтных, энергосберегающих и других видов работ, связанных с повышением эффективности использования и экономии ТЭР;
- реализацию мероприятий, связанных с развитием и применением нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, использование возобновляемых энергетических ресурсов;
- информационное обеспечение юридических и физических лиц, подготовка кадров для сферы энергосбережения;
- разработку и внедрение эффективных систем управления энергосбережением и средств контроля над эффективным использованием ТЭР.

Законом определены основные принципы государственного управления в сфере энергосбережения:

- осуществление государственного надзора за рациональным использованием ТЭР;
- разработка государственных и межгосударственных научно-технических, республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения и их финансирование;
- приведение нормативных документов в соответствие требованию снижения энергоемкости материального производства, сферы услуг и быта;
- создание системы финансово-экономических механизмов, обеспечивающих экономическую заинтересованность производителей и пользователей в эффективном использовании ТЭР;

- вовлечение в топливно-энергетический баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также инвестирование средств в энергосберегающие мероприятия;
- повышение уровня самообеспечения республики местными ТЭР;
- осуществление государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений;
- создание и широкое распространение экологически чистых и безопасных энергетических технологий, обеспечение безопасного для населения состояния окружающей среды в процессе использования ТЭР;
- реализация демонстрационных проектов высокой энергетической эффективности;
- информационное обеспечение деятельности по энергосбережению и пропаганда передового отечественного и зарубежного опыта в этой области;
- обучение производственного персонала и населения методам экономии топлива и энергии;
- создание других экономических, информационных, организационных условий для реализации принципов энергосбережения.

Законом определено также, что необходимо обеспечить установление технически и экономически обоснованных прогрессивных норм расхода топлива, которые должны, в обязательном порядке, включаться в технологические регламенты, технические паспорта, ремонтные карты, технологические инструкции по эксплуатации всех видов энергопотребляющей продукции. Национальная система стандартизации, сертификации обеспечивает контроль соответствия продукции, работ, услуг, а также ТЭР требованиям эффективного энергопотребления. Кроме того, предусмотрено проведение государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений для определения их соответствия требованиям нормативной документации.

В целях оценки эффективности использования ТЭР и обеспечения их экономии предусмотрено проведение энергетических обследований субъектов хозяйствования, расположенных на территории Республики Беларусь, и введена система нормирования расхода топлива и энергии.

Законом определены источники финансирования мероприятий по энергосбережению. Ими являются средства:

- 1) республиканского и местного бюджетов;
- 2) республиканского фонда энергосбережения;
- 3) юридических и физических лиц, направленных на цели энергосбережения;

- 4) инновационного фонда концерна «Белэнерго»;
- 5) инновационных фондов министерств и ведомств;
- 6) льготные кредиты;
- 7) инвестиции по линии Всемирного банка;
- 8) другие источники.

Для производителей и пользователей топливно-энергетических ресурсов предусмотрена система получения льготных кредитов для проведения энергосберегающих мероприятий, определен порядок образования и использования фондов «Ресурсо- и энергосбережение» субъектами хозяйствования.

В настоящее время реализована Республиканская программа энергосбережения на 2006 – 2010 гг., утвержденная Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 02.02.2006 г. № 137. Достижение установленных в ней показателей планируется обеспечить за счет выполнения высокоэффективных быстро окупаемых мероприятий, в том числе:

- развития на предприятиях современной энергетики с реконструкцией котельных в ТЭЦ, на основе внедрения когенерационного оборудования (газопоршневых и газотурбинных установок), позволяющего обеспечить выработку электрической энергии с удельным расходом условного топлива 150 – 170 г/кВтч и заместить выработку электроэнергии на Лукомльской и Березовской ГРЭС с удельным расходом свыше 320 г/кВтч, при этом практически исключаются потери на транспорт электроэнергии в электрических сетях;

- внедрения новых энергоэффективных технологических процессов производства продукции во всех отраслях экономики, позволяющих, в отдельных случаях, на порядок снизить удельный расход энергоресурсов на выпуск единицы продукции;

- утилизации тепловых и горючих вторичных энергоресурсов, прежде всего, в организациях нефтехимической отрасли, для последующего их использования в технологических процессах и для производства тепловой энергии, что позволяет значительно снизить долю энергоресурсов в себестоимости продукции;

- оптимизации схем теплоснабжения и передачи тепловых нагрузок от ведомственных котельных на ТЭЦ для увеличения объема выработки электрической энергии на тепловом потреблении;

- децентрализации теплоснабжения в сельской местности с ликвидацией длинных теплотрасс и установкой локальных теплоисточников, что позволяет исключить потери тепловой энергии в теплосетях, сопоставимые и даже превышающие объем потребления тепла у конечного потребителя;

- внедрения регулируемых электроприводов на механизмах с переменной нагрузкой, обеспечивающего экономию 25 – 40 % потребления,

следовательно, снижение выработки электроэнергии на конденсационных электростанциях, двукратную экономию денежных средств у потребителей, и других мероприятий.

Низкая обеспеченность собственными топливно-энергетическими ресурсами (далее – ТЭР), доминирующая доля одного вида топлива в топливно-энергетическом балансе – природного газа, импорт ТЭР преимущественно из одной страны стали дестабилизирующими факторами, ослабляющими энергетическую безопасность республики. Прирост производства валового внутреннего продукта с относительно высокой его энергоемкостью, а также уменьшение добычи и использования местных энергоресурсов все в большей степени способствовало возрастанию зависимости республики от зарубежных поставок топлива. Увеличение использования местных ТЭР в определенной степени нейтрализует все перечисленные факторы.

Основной целью, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 25 августа 2005 года № 399, Государственной комплексной программы модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006 – 2010 годах (далее – Государственная программа) является определение конкретных мероприятий, сроков их реализации и требуемых инвестиций, позволяющих обеспечить положительную динамику обновления основных фондов, надежное и эффективное энергоснабжение отраслей экономики и населения при соблюдении экологических требований и, в конечном итоге, обеспечение энергетической безопасности Республики Беларусь.

Достижение поставленной цели базируется на реализации комплекса мероприятий, включающих:

- централизованное управление всеми стадиями процесса производства, транспортировки и потребления энергоносителей;
- государственное регулирование тарифов на электрическую и тепловую энергию и цен на топливо;
- сбалансированную модернизацию и развитие генерирующих источников, электрических и тепловых сетей Белорусской энергетической системы;
- изменение динамики возрастной структуры основных фондов Белорусской энергосистемы на первом этапе в сторону стабилизации достигнутого уровня, а на втором – постоянного их омоложения;
- разработку и жесткий контроль реализации республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения, внедрение энерго-

эффективных технологий и оборудования во всех отраслях экономики и в социальной сфере;

- снижение затрат на производство (добычу, заготовку), транспортировку и потребление всех видов топлива, тепловой и электрической энергии;
- постепенную диверсификацию поставщиков различных видов топлива в республику;
- максимальное вовлечение в топливный баланс экономически оправданных объемов местных видов топлива, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Срок реализации Государственной программы – 2006 – 2010 гг.

Во исполнение пятилетних республиканских программ энергосбережения ежегодно формируются региональные и отраслевые программы энергосбережения, а также программы предприятий, в результате выполнения которых в народном хозяйстве республики внедряются конкретные энергоэффективные технологии и оборудование, обеспечивающие энергосберегающий эффект.

Контрольные вопросы

1. Законодательные акты Республики Беларусь по вопросам энергосбережения.
2. Стандарты в области энергосбережения.
3. Основные направления политики энергосбережения в Республике Беларусь.
4. Источники финансирования мероприятий по энергосбережению.

РАЗДЕЛ № 13. ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА И ЭНЕРГОАУДИТА

13.1 Основные потребители энергии предприятия

Следует отметить, что в большинстве случаев размещение источников энергии и потребителей не совпадает. Поэтому энергетическое хозяйство предприятия должно включать разветвленную систему передачи и распределения энергии. В качестве источников энергии в организации могут служить также энергетические отходы (вторичные энергетические ресурсы). Эти отходы могут быть непосредственно готовыми к применению или использоваться после их преобразования. Данный вопрос рассматривается в разделе № 5.

Основными потребителями энергии на предприятии являются:

- технологические потребители, непосредственно связанные с выпуском готовой продукции или оказанием услуг;
- системы освещения;
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- горячее и холодное водоснабжение.

Технологические потребители в зависимости от отрасли промышленности и сферы услуг существенно отличаются друг от друга, хотя имеются и идентичные, например электропривод устройств, механизмов и агрегатов. В то же время вспомогательные потребители имеют общую основу и отличаются лишь деталями, учитывающими специфику производства. В целом энергетическое хозяйство предприятия представляет собой сложную разветвленную структуру, характеризующуюся взаимосвязанными энергетическими и материальными потоками различного вида и назначения.

13.2 Содержание и порядок проведения энергетического аудита организации

Обследование включает получение общей характеристики организации и данных, необходимых для оценки резервов экономии энергоресурсов.

Для всестороннего анализа использования ТЭР в организации составляются следующие виды энергобалансов:

- по видам используемых энергоносителей (топливо, тепловая энергия, электрическая энергия, механическая энергия);
- по целевому назначению, т. е. с выделением расхода на технологию и вспомогательные нужды (отопление, вентиляцию, освещение и др.);
- по производственно-территориальным единицам (цехам, участкам и т. д.);
- полный энергетический баланс.

Правила проведения энергоаудита изложены в государственном стандарте Республики Беларусь СТБ 1776 – 2010 «Энергетическое обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов. Общие требования».

Анализ приходной и расходной частей энергетического баланса позволяет установить специфику энергопотребления и эффективность использования энергоресурсов на промышленном предприятии. Полный энергетический баланс (в тепловом эквиваленте) включает все виды энергии, претерпевающие преобразование в организации.

При проведении энергетического обследования в общей характеристике организации должны быть отражены следующие вопросы:

- 1) номенклатура продукции и фактические удельные расходы энергоресурсов на ее производство за год, предшествовавший началу проведения энергетического обследования;
- 2) источники и схема энергоснабжения;
- 3) показатели суточных (зимнего и летнего) графиков электрической и тепловой нагрузки;
- 4) доля энергетической составляющей в себестоимости продукции;
- 5) организационная структура энергетической службы.

Для оценки эффективности энергопользования проводится обследование по следующим направлениям:

- состояние технического учета:
 - 1) способы учета (расчетный, приборный, опытно-расчетный);
 - 2) формы получения, обработки и представления информации о контроле расхода энергии по цехам, участкам, энергоемким агрегатам;
 - 3) соответствие схемы учета энергии структуре норм; оснащение приборами расхода ТЭР;
- состояние нормирования:
 - 4) наличие на предприятии утвержденных норм расхода энергоресурсов;
 - 5) охват нормированием статей потребления энергоресурсов;
 - 6) фактическая структура норм и соответствие ее технологии и организации производства;
 - 7) динамика норм и удельных расходов за три предшествующих обследованию года;
 - 8) определение резервов экономии энергетических ресурсов на основании обследования оборудования и технологических процессов, состояния использования ВЭР.

По результатам проведения энергетического обследования предприятия составляется перечень организационно-технических мероприятий (ОТМ) по экономии топлива и энергии. Системный подход к анализу энергоэффективности технологических процессов предполагает выделение иерархических уровней соподчинения энерготехнологических элементов систем энергоснабжения и энергопользования промышленного предприятия (рис. 13.1).



Рис. 13.1. Уровни иерархии энергосистемы промышленного предприятия. Расход электроэнергии, кВт·ч,

Составление подобных схем помогает не только систематизировать и осмыслить исходную информацию о состоянии потребления ТЭР на предприятии, но и является основой для проведения интегрированного анализа эффективности реализации организационно-технических мероприятий по их экономии.

13.2.1 Расчетный анализ энергетических балансов.

Расчетный анализ расходов электрической энергии может быть выполнен на основе следующих соотношений:

- **расход электроэнергии на технологические установки, кВт·ч:**

$$W = N_n \cdot k_k \cdot t, \quad (13.1)$$

где: N_n – номинальная мощность электродвигателя технологической установки, кВт;

K_k – коэффициент использования мощности электродвигателя;

t – рассматриваемый промежуток времени, ч;

– **расход энергии на освещение, кВт·ч:**

$$W_c = (E_j S_j z / C_j) \cdot t_j \cdot 10^{-3}, \quad (13.2)$$

где: E_j – норма освещенности в j -м помещении, лк (люкс -единица измерения освещенности);

S_j – площадь j -го помещения, m^2 ;

z – коэффициент неравномерности освещения, принимающий значения от 1,1 до 1,15; t_j - время работы светильника в j -м помещении, ч;

C_j – световая отдача светильника, лм/Вт (люмен-единица измерения светового потока), определяется по соотношению:

$$C_j = (\Phi / N_c) \cdot \eta_c, \quad (13.3)$$

где: Φ – световой поток лампы светильника, лм;

N_c – номинальная мощность лампы, Вт;

η_c – КПД светильника.

Расчетный анализ содержания тепловой энергии в приходной и расходной частях энергетического баланса может быть выполнен на основе следующих соотношений:

– **содержание химической энергии, теплота фазовых превращений, Гкал:**

$$Q_n = M \cdot r \cdot 10^{-6}, \quad (13.4)$$

где: M – расход материального потока за рассматриваемый промежуток времени (час, год), кг или m^3 ;

r – удельная химическая энергия, энергия фазовых превращений, ккал/кг или ккал/ m^3 ;

– **теплосодержание материальных потоков, Гкал:**

$$Q_n = M \cdot c \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad (13.5)$$

где: c – массовая или объемная удельная теплоемкость материального потока M , ккал/(кг·град) или ккал/(m^3 ·град);

T – температура потока, °С;

– **расход теплоты на отопление, Гкал:**

$$Q_{от} = q_0 V (T_{вн} - T_{ос}) t \cdot 10^{-6}, \quad (13.6)$$

где: q_0 – объемная отопительная характеристика объекта, ккал/(m^2 -чград);

V – внешний объем объекта, m^3 ;

$T_{\text{вн}}$, $T_{\text{ос}}$ – температуры внутри и вне объекта, °С;
 t – рассматриваемый промежуток времени, ч;

– **расход тепла на вентиляцию, Гкал:**

$$Q_{\text{в}} = q_{\text{в}} V (T_{\text{вн}} - T_{\text{ос}}) t \cdot 10^{-6}, \quad (13.7)$$

где: $q_{\text{в}} = t_{\text{св}} (V_{\text{в}}/V)$;

t – кратность воздухообмена, 1/ч;

$c_{\text{в}}$ – объемная удельная теплоемкость воздуха, ккал/(м³град);

$V_{\text{в}}$ – вентилируемый объем, м³;

– **потери теплоты с дымовыми газам, Гкал:**

$$Q_{\text{дг}} = V_{\text{дг}} c_{\text{дг}} T_{\text{дг}} \cdot 10^{-6}, \quad (13.8)$$

где: $V_{\text{дг}}$ – выход дымовых газов на 1 м³ газообразного или на 1 кг твердого топлива, м³/м³ или м³/кг;

$c_{\text{дг}}$ – объемная удельная теплоемкость дымовых газов, ккал/(м³град);

$T_{\text{дг}}$ – температура дымовых газов;

– **тепловой эквивалент электрической энергии, Гкал:**

$$Q = W \cdot 0,86 \cdot 10^{-3}, \quad (13.9)$$

где W – подведенная (потребленная) за рассматриваемый промежуток времени (час, год) электрическая энергия, кВт.

13.3. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов

13.3.1 Общие задачи

Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – это определение меры рационального потребления этих ресурсов на единицу продукции установленного качества. Основная задача нормирования энергопотребления как составной части энергетического менеджмента – обеспечить применение в производстве методов рационального распределения и эффективного использования энергоресурсов.

Норма расхода ТЭР позволяет:

– планировать потребность ТЭР на производство определенного количества продукции;

– анализировать работу предприятия и его подразделений путем сопоставления норм и фактических удельных расходов ТЭР;

- определять удельную энергоемкость данного вида продукции;
- сравнивать энергоемкость одноименного продукта, производимого разными способами.

В основе составления норм расхода ТЭР лежит анализ энергетических балансов промышленных предприятий.

13.3.2 Классификация норм расхода ТЭР.

Нормы расхода топлива, тепловой, электрической и механической энергии различаются как по степени агрегации – индивидуальные, групповые, так и по составу расходов – технологические, общепроизводственные (рис. 13.2).

Индивидуальная норма расхода ТЭР – это норма расхода на производство единицы определенного продукта, изготавливаемого определенным способом на конкретном оборудовании.

Групповая норма расхода ТЭР – это норма расхода на производство единицы одноименной продукции, изготавливаемой по различным технологическим схемам, на разнотипном оборудовании, из различного сырья.

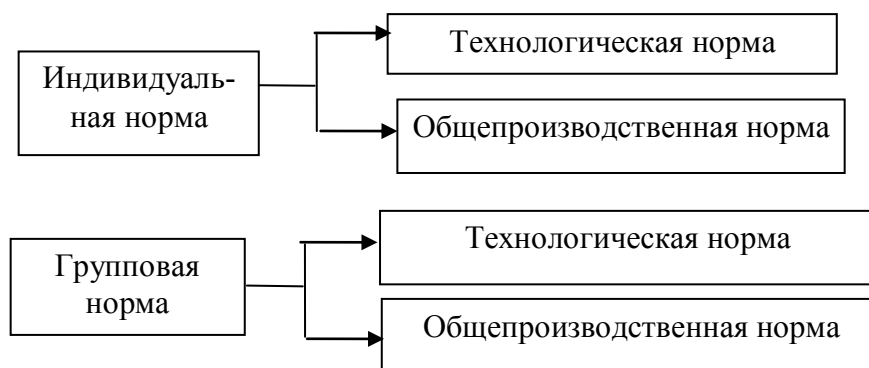


Рис. 13.2. Классификация норм расхода ТЭР по степени агрегации и по составу расходов

Групповая норма расхода ТЭР – это норма расхода на производство единицы одноименной продукции, изготавливаемой по различным технологическим схемам, на разнотипном оборудовании, из различного сырья.

Технологическая норма расхода ТЭР – это норма расхода на основные и вспомогательные технологические процессы производства данного вида продукции.

Общепроизводственная норма расхода ТЭР – это норма, которая учитывает расходы энергии на основные и вспомогательные технологические процессы, на вспомогательные нужды производства, а также технически неизбежные потери энергии в преобразователях, тепловых и электрических сетях предприятий, отнесенные на производство данной продукции.

Примерный состав технологической и общепроизводственной норм расхода ТЭР представлен на рис. 13.3.

Основными методами разработки норм расхода ТЭР являются:

- опытный (приборный);
- расчетно-статистический – на основе статистических данных об удельных энергетических затратах за ряд предшествующих лет, т. е. метод экстраполяции или энергетического планирования;
- расчетно-аналитический – на основе математического описания энергопотребления с учетом нормообразующих факторов.

Опытный (приборный, приборно-расчетный) метод применяется для определения только индивидуальных групповых норм расхода ТЭР.

Расчетно-статистический и расчетно-аналитический методы применяются для разработки как индивидуальных, так и групповых норм расхода ТЭР.

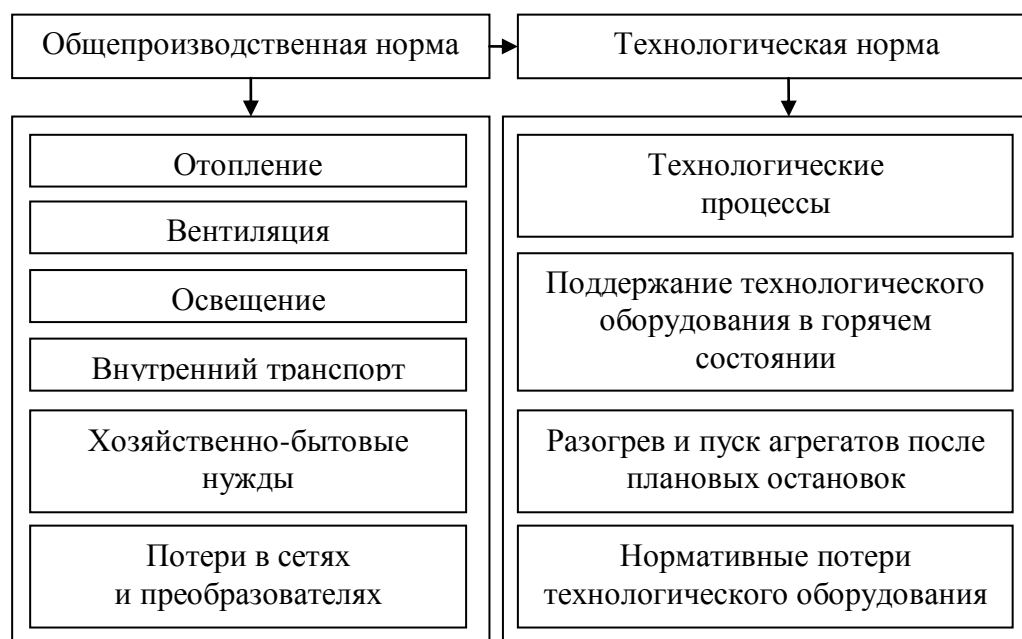


Рис. 13.3. Примерный состав технологической и общепроизводственной норм расхода ТЭР

13.3.3 Расчет норм расхода ТЭР

Индивидуальная норма расхода ТЭР определяется по соотношению:

$$N_{и} = \sum_{j=1}^m e_j, \quad (13.10)$$

где: e_j , m – статьи расхода и количество статей расхода, по которым рассчитывается норма.

Если одна из статей расхода намного превосходит остальные, целесообразно представить $H_{и}$ в виде:

$$H_{и} = e_{\max} \left(1 + \sum_{j=1}^{m-1} \delta_j \right), \quad (13.11)$$

где: $\delta_j = e_j/e_{\max}$ – статьи расхода, по которым рассчитывается норма.

Групповая норма расхода ТЭР определяется по соотношению:

$$H_{гр} = \sum_{j=1}^k (H_{и})_i \delta_i, \quad (13.12)$$

где: $(H_{и})_i$ – индивидуальная норма расхода по i -й технологической группе;
 $\delta_i = V_i/V$ – удельный вес i -й составляющей в общем объеме производства продукции;
 k – количество технологических групп.

Технологическая цеховая норма расхода ТЭР определяется по соотношению:

$$T_{и,j}^H = E^T/V_{j,i}, \quad (13.13)$$

где: $T_{и,j}^H$ – технологическая цеховая норма расхода энергоресурсов на технологический процесс производства i -го продукта в j -м цехе;
 E^T – расход энергоресурсов на технологический процесс;
 $V_{j,i}$ – объем производства i -го продукта (товарного) или его составляющей (полупродукта) в j -м цехе.

Технологическая заводская (отраслевая) норма расхода ТЭР определяется по соотношению:

$$Z_T = \sum_{j=1}^n T_{и,j}^H (V_{j,i}/V_i), \quad (13.14)$$

где: n – количество цехов предприятия (предприятий), выпускающих продукцию;
 V_i – объем производства i -го продукта на предприятии.

Пример 1

Характеристика промышленных предприятий:

Предприятие № 1. Затраты ТЭР:

- на основной технологический процесс – $5 \cdot 10^6$ МДж;
- на разогрев и пуск оборудования – $3 \cdot 10^5$ МДж;
- на плановые потери – $2 \cdot 10^5$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции – 10 000.

Предприятие № 2. Затраты ТЭР:

- на основной технологический процесс – $2 \cdot 10^7$ МДж;
- на разогрев и пуск оборудования – $5 \cdot 10^5$ МДж;
- на плановые потери – $4 \cdot 10^5$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции – 20 000.

Задание:

1. Определить индивидуальные технологические нормы.
2. Найти групповую технологическую норму.
3. Сделать выводы относительно энергоэффективности технологических процессов.

Решение.

В соответствии с определениями индивидуальной, групповой и технологической норм:

$(T^H)_1 = (5 \cdot 10^6 + 3 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5)$ МДж / 10 000 ед. прод. = $0,55 \cdot 10^3$ МДж / ед. прод.;

$(T^H)_2 = (2 \cdot 10^7 + 5 \cdot 10^5 + 4 \cdot 10^5)$ МДж / 20 000 ед. прод. = $1,04 \cdot 10^3$ МДж / ед. прод.;

$T^r = (0,55 \cdot 1/3 + 1,04 \cdot 2/3) \cdot 10^3$ МДж / ед. прод. = $0,82 \cdot 10^3$ МДж / ед. прод.

Выводы:

1. Технологический процесс на предприятии № 1 организован с меньшими затратами ТЭР на выпуск одноименной продукции, чем на предприятии № 2.

2. Групповая технологическая норма ближе к индивидуальной технологической норме на предприятии № 2, так как оно выпускает продукции больше, чем предприятие № 1.

Общепроизводственная цеховая норма расхода ТЭР определяется по соотношению:

$$Ц_{i,j}^H = T_{i,j}^H + E_j (k_{j,i}/V_{j,i}), \quad (13.15)$$

где: $Ц_{i,j}^H$ – общепроизводственная цеховая норма расхода энергоресурсов на производство i -го продукта в j -м цехе;

$T_{i,j}^H$ – удельный расход энергоресурсов на технологический процесс производства i -го продукта в j -м цехе;

E_j – суммарный расход энергоресурсов на вспомогательные нужды j -го цеха;

$V_{j,i}$ – объем производства i -го продукта в j -м цехе;

$K_{j,i}$ – коэффициент пропорциональности, согласно которому производится распределение общепроизводственных цеховых затрат энергии по видам продукции.

Пример 2

Характеристика *промышленного предприятия*:

На предприятии два цеха. В целом на освещение предприятия расходуется 75 МВт·ч.

Характеристика *цехов*:

Цех № 1: площадь освещения – 1000 м².

Цех № 2: площадь освещения – 4000 м².

Задание:

Определить затраты энергии на освещение по каждому из цехов для установления общепроизводственной нормы расхода ТЭР.

Решение:

$$E_1 = 75 \text{ МВт}\cdot\text{ч} (1000 \text{ м}^2 / 5000 \text{ м}^2) = 15 \text{ МВт}\cdot\text{ч};$$

$$E_2 = 75 \text{ МВт}\cdot\text{ч} (4000 \text{ м}^2 / 5000 \text{ м}^2) = 60 \text{ МВт}\cdot\text{ч}.$$

Если цех производит продукцию одного вида (одного качества), то $k_j, I = 1$. В этом случае общепроизводственная цеховая норма расхода ТЭР определяется по соотношению:

$$Ц^H = (E^T + E^B)/V, \quad (13.16)$$

где: E^T – расход энергоресурсов на технологический процесс;

E^B – расход энергоресурсов на вспомогательные нужды;

V – объем производства продукта в цехе.

Анализ соотношения суммарных энергетических затрат на производство продукта в цехе и энергетических затрат на технологический процесс проводится по соотношению:

$$N^T = (E^T / (E^T + E^B)) \cdot 100 \%, \quad (13.17)$$

Общепроизводственная (отраслевая) норма расхода ТЭР определяется по соотношению:

$$З^H = \sum_{j=1}^n Ц_j^H \alpha_j, \quad (13.18)$$

где: α_j – доля j -го цеха в общем объеме выпуска одноименной продукции;

n – количество цехов предприятия (предприятий), выпускающих одноименную продукцию.

Пример 3

Характеристика промышленных предприятий:

Предприятие № 1.

Индивидуальная технологическая норма – $0,55 \cdot 10^3$ МДж/ ед. прод.
Затраты ТЭР на вспомогательные нужды производства – $1 \cdot 10^6$ МДж.
Количество единиц выпускаемой продукции – 10 000.

Предприятие № 2.

Индивидуальная технологическая норма – $1,04 \cdot 10^3$ МДж/ ед. прод.
Затраты ТЭР на вспомогательные нужды производства – $0,5 \cdot 10^7$ МДж.
Количество единиц выпускаемой продукции – 20 000.

Задание:

1. Определить индивидуальные общепроизводственные нормы.
2. Найти групповую общепроизводственную норму.
3. Сделать вывод относительно энергоэффективности организации производства на предприятиях.

Решение:

В соответствии с определениями индивидуальной, групповой и общепроизводственной норм:

$$(Z^n)_1 = (0,55 \cdot 10^3 \text{ МДж / ед. прод.} + 1 \cdot 10^6 \text{ МДж / } 10\,000 \text{ ед. прод.}) = \\ = (0,55 + 0,1) \cdot 10^3 \text{ МДж / ед. прод.} = 0,65 \cdot 10^3 \text{ МДж / ед. прод.};$$

$$(Z^n)_2 = (1,04 \cdot 10^3 \text{ МДж / ед. прод.} + 0,5 \cdot 10^7 \text{ МДж / } 20\,000 \text{ ед. прод.}) = \\ = (1,04 + 0,25) \cdot 10^3 \text{ МДж / ед. прод.} = 1,29 \cdot 10^3 \text{ МДж / ед. прод.};$$

$$Z^r = (0,65 \cdot 1/3 + 1,29 \cdot 2/3) 10^3 \text{ МДж / ед. прод.} = 1,08 \cdot 10^3 \text{ МДж / ед. прод.}$$

Выводы:

1. На предприятии № 1 затрачивается меньшее количество ТЭР на выпуск единицы одноименной продукции, чем на предприятии № 2. Следовательно, производственный процесс на предприятии № 1 организован эффективнее.

2. Групповая общепроизводственная норма ближе к индивидуальной общепроизводственной норме на предприятии № 2, так как оно выпускает продукции больше, чем предприятие № 1.

13.3.4 Вспомогательные критерии энергетической эффективности

Для проведения режима энергосбережения и анализа энергоиспользования наряду с нормами расхода ТЭР должны применяться следующие показатели, характеризующие эффективность использования ТЭР на предприятии или в отрасли:

- удельная энергоемкость продукции (работ, услуг);
- обеспеченность прироста потребности в ТЭР за счет их экономии;
- энергопроизводительность.

Удельная энергоемкость продукции – отношение всей потребляемой на производственные нужды за год энергии к годовому объему продукции:

$$E = \Pi_{\text{ТЭР}}/V \quad (13.19)$$

где: $\Pi_{\text{ТЭР}}$ – вся энергия, потребляемая на производственные нужды за год (в пересчете на условное топливо);

V – годовой объем продукции (в натуральном, условном или стоимостном выражении).

Обеспечение прироста потребности в ТЭР за счет их экономии – отношение экономии ТЭР к приросту потребности в ТЭР:

$$\Delta\Pi_3 = (\mathcal{E}/\Delta\Pi) \cdot 100 \%, \quad (13.20)$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_{\text{ВЭР}}, \quad (13.21)$$

$$\mathcal{E}_n = (H_i - H_0)V_i, \quad (13.22)$$

где: \mathcal{E} – экономия ТЭР;

$\Delta\Pi$ – прирост потребности в ТЭР;

\mathcal{E}_n – экономия за счет снижения норм расхода по отношению к базисному году (за базисный принимается среднестатистический год, предшествующий отчетному);

$\mathcal{E}_{\text{ВЭР}}$ – экономия за счет увеличения использования ВЭР по отношению к i -му году;

H_0, H_i – нормы расхода энергоресурса в базисном и отчетном годах;

V_i – объем выпуска продукции в отчетном году.

Энергопроизводительность (ЭПР) – выход продукции на единицу стоимости ТЭР:

$$\text{ЭПР} = V_i/Z_{\text{ТЭР}}, \quad (13.23)$$

где: V_i – объем выпуска продукции (в стоимостном выражении);

$Z_{\text{ТЭР}}$ – объем затрат ТЭР (в стоимостном выражении).

13.4. Классификация энергосберегающих мероприятий по виду и составу экономического эффекта

Классификация организационно-технических мероприятий по экономии ТЭР.

К основным классификационным признакам ОТМ по экономии ТЭР можно отнести (рис. 14.4):

- снижение потребления энергии;
- замещение используемых энергоресурсов иными источниками энергии;
- повышение коэффициента использования ТЭР.

Вместе с тем при определении энергетической и соответственно экономической эффективности проводимых организационно-технических мероприятий следует учитывать ряд факторов, которые могут приводить к увеличению потребления ТЭР, но при этом как совершенствовать саму технологию, так и повышать качество конечной продукции. К факторам, повышающим удельный расход ТЭР, можно, прежде всего, отнести охрану окружающей среды, повышение безопасности и надежности технологического оборудования, а также повышение (расширение) потребительских качеств продукции.



Рис. 14.4. Классификация ОТМ по экономии ТЭР

По виду и составу получаемого экономического эффекта все ОТМ можно разделить следующим образом:

1. Мероприятия в системе энергоснабжения, не влияющие на производственный процесс.

Экономический эффект при реализации данного типа мероприятий может достигаться за счет сокращения энергетических потерь и издержек производства, передачи и распределения энергии на ТЭЦ и в котельных, в компрессорных и холодильных станциях и т. п.; в тепловых, электрических и других энергетических сетях; в трансформаторах, центральных бойлерных и т. п.

2. Мероприятия в системе энергоснабжения, влияющие на производственный процесс.

При проведении подобных мероприятий может меняться количество и качество энергии, передаваемой из системы энергоснабжения в систему энергопользования, а в результате – реконструируется или интенсифицируется производственный процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии и сокращения издержек при производстве, передаче и распределении энергии, а также получения выгод в самом производственном процессе (увеличения выпуска продукции, повышения ее качества, сокращения расхода материалов и т. д.).

3. Мероприятия в системе энергопользования, не влияющие на технологический процесс.

К этим мероприятиям относятся все работы во вспомогательных системах обеспечения основного технологического процесса (например, отопление, вентиляция, горячее водоснабжение, освещение), а также во вспомогательных цехах и службах, если они непосредственно не влияют на основной технологический процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии во вспомогательном производстве, сокращения эксплуатационных расходов в основном и вспомогательном производстве.

4. Мероприятия в системе энергопользования, влияющие на технологический процесс.

В системе энергопользования таких работ большинство, так как энергопотребляющие агрегаты прямо встроены в технологический процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии и сокращения эксплуатационных расходов в основном производстве.

5. Мероприятия, повышающие надежность работы энергоустановок.

Они могут осуществляться как в системе энергоснабжения, так и в системе энергопользования. Экономический эффект в данном случае определяется по предотвращенному (или сниженному) ущербу от некачественного энергоснабжения (например, от перерывов в энергоснабжении, отклонения параметров энергии от заданных и т. п.).

13.5 Расчет эффекта от реализации организационно-технических мероприятий (ОТМ)

Экономия энергоресурсов от внедрения ОТМ в производстве конкретного продукта, в котором отсутствуют структурные группы, равна:

$$\mathcal{E} = \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_M = (\mathcal{E}_M)_i \quad (13.24)$$

где: \mathcal{E}_M – экономия ТЭР от внедрения ОТМ по продукту в целом;
 $(\mathcal{E}_M)_j$ – экономия ТЭР от внедрения конкретного j-го мероприятия;
 n – количество мероприятий по данному продукту.

Экономия ТЭР от внедрения конкретного j-го мероприятия может быть найдена специальным расчетом или по формуле:

$$(\mathcal{E}_M)_i = \Psi_j V_j, \quad (13.25)$$

где: Ψ_j – величина экономии нормируемого вида ТЭР на единицу объема внедрения мероприятия;

V_j – объем потребления ТЭР или объем производства продукции по объектам, где будет внедряться данное мероприятие.

При наличии структурных групп экономия ТЭР от внедрения ОТМ в производство продукта может быть найдена по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_M + \mathcal{E}_c = \sum_{j=1}^n [(\mathcal{E}_M)_i + (\mathcal{E}_c)_i], \quad (13.26)$$

где: \mathcal{E}_c – экономия ТЭР от изменения объемов производства в структурных группах в целом по продукту;

$(\mathcal{E}_M)_i$ – экономия ТЭР от внедрения ОТМ в структурных группах;

$(\mathcal{E}_c)_i$ – экономия ТЭР от изменения объемов производства в i-й структурной группе;

n – количество структурных групп.

Экономия ТЭР от изменения объемов производства в i-й структурной группе $(\mathcal{E}_c)_i$ равна:

$$(\mathcal{E}_c)_i = ((H_{\delta})_i - H_{\delta}) \cdot (V_i - (V_{\delta})_i), \quad (13.27)$$

где: $(H_{\delta})_i$ и H_{δ} – нормы расхода энергоресурса в базисном году по структурной группе и по продукту;

V_i и $(V_{\delta})_i$ – план производства по структурной группе в планируемом и базисном годах.

13. 6. Порядок проведения энергетического аудита на предприятии

Энергетическое обследование предприятий, учреждений и организаций, расположенных на территории Республики Беларусь, производится с целью получения общей характеристики предприятия и данных, необходимых для оценки экономии энергоресурсов.

Проведение энергоаудита необходимо для любой организации, которая хотела бы контролировать энергозатраты и затраты на коммунальные услуги. Результатом аудита является детальное изучение того, как энергия закупается, распределяется и используется. По данным его проведения выявляется возможность экономии энергоресурсов.

Обязательному энергетическому аудиту подлежат субъекты хозяйствования с годовым суммарным потреблением ТЭР более 1,5 тыс. тунт. Обследование проводится согласно графику, утвержденному соответствующим республиканским органом государственного управления, объединениями, подчиненными СМ РБ, облисполкомами и Минским горисполкомом и согласованному с Комитетом по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь. Интервал между энергетическими обследованиями не должен превышать 5 лет. О сроках проведения обследования субъекты хозяйствования извещают за 3 месяца до его начала.

В общей характеристике предприятия отражается:

- отраслевая принадлежность;
- номенклатура продукции и фактические удельные расходы энергоресурсов на ее производство за год, предшествующий началу проведения энергетического обследования;
- источники и схема энергоснабжения;
- показатели суточных (зимнего и летнего) графиков электрической нагрузки;
- доля энергетической составляющей в себестоимости продукции;
- организационная структура энергослужбы;
- состояние энергетической отчетности (в том числе наличие паспортов оборудования, оперативных журналов, документов внутриводской отчетности, материалов ранее проведенных обследований).

Для оценки эффективности энергоиспользования проводится обследование по следующим семи направлениям:

1. Состояние технического учета:
 - способы учета (расчетный, приборный, опытно-расчетный);
 - формы получения, обработки и представления информации о контроле расхода энергии по цехам, участкам, энергоемким агрегатам;

- соответствие схемы учета энергии структуре норм;
- оснащенность приборами расхода ТЭР (электросчетчики, тепло-счетчики, расходомеры газа и жидкого топлива).

2. Состояние нормирования ТЭР:

- наличие на предприятии утвержденных в установленном порядке норм расхода энергоресурсов;
- охват нормированием статей потребления энергоресурсов;
- фактическая структура норм и соответствие ее технологии и организации производства;
- динамика норм и удельных расходов за 3 предшествующие обследованию года.

3. Определение резервов экономии энергоресурсов, которые определяются на основании обследования энергопотребляющего оборудования технологических процессов, состояния использования вторичных энергоресурсов (ВЭР).

4. Участие предприятия в регулировании графиков электрической нагрузки энергосистемы:

- предусматриваемые мероприятия по использованию энергоемкого оборудования в качестве потребителей-регуляторов;
- режим работы предприятия в условиях ограничения мощности энергосистемы в осенне-зимний период.

5. Перечень и краткое описание важнейших организационно-технических мероприятий по экономии топлива и энергии, намеченных на текущий год планами предприятия и рекомендуемых по результатам проведения целевого обследования.

6. Выявленные источники нерационального расходования энергии и топлива и оценки величины их потерь.

7. Основные показатели, характеризующие состояния энергоиспользования на предприятии.

Энергетическое обследование предприятий любой формы собственности является эффективной мерой экономии энергоресурсов. По результатам аудита составляется технический отчет, в котором должны содержаться мероприятия, способствующие рациональному использованию энергоресурсов, сроки окупаемости и количественные параметры экономии, рекомендации и разъяснения по финансированию предложенных мер. Таким образом, энергетический аудит позволяет определить резервы экономии каждого конкретного предприятия.

Энергетическое обследование предприятий и организаций проводится специализированными организациями, имеющими лицензию **Госкомэнер-**

госбережения на проведение энергоаудита. Основным правовым документом, регулирующим взаимоотношения сторон при проведении энергетического аудита, является договор между организацией, проводящей энергетический аудит, и субъектом хозяйствования, на котором он проводится.

Стоимость работ по энергетическому аудиту оплачивается за счет средств обследуемых:

- хозрасчетных организаций – по статье затрат, относимых на себестоимость продукции, а также за счет республиканского фонда «Энергосбережение»;

- бюджетных организаций (при финансировании местных бюджетов) – по смете, согласованной областными или города Минска энергетическими комиссиями (по территориальному признаку).

Стоимость работ определяется на основании временного нормативного документа «Порядок определения трудозатрат на проведение работ по энергетическим обследованиям, на разработку энергетических балансов и норм расхода топливно-энергетических ресурсов».

13.7. Энергетический баланс

Энергетический баланс является основным инструментом энергетического менеджмента и наиболее полной характеристикой энергетического хозяйства предприятия. Значение его состоит в том, что он отражает достоверное количественное соответствие между потребностью и приходом ТЭР на данный момент или период времени. При составлении баланса рассматриваются виды потребляемой энергии: электроэнергия, газ, мазут, пар и т. п. Далее производится количественное измерение потребления энергии на все цели, в том числе и потери энергии. Баланс составляется на основании фактического потребления энергии. Для получения данных используются самые различные приборы: счетчики электроэнергии, газа, пара, воды, отопления и т. п. Изучение энергетических балансов дает возможность установить фактическое состояние использования энергии, как на отдельных участках производства, так и по предприятию в целом, выявить резервы экономии энергии. Балансы могут составляться по отдельным энергоносителям, измеряемым соответствующими единицами (джоули, киловатт-часы, тонны условного топлива), и по суммарному потреблению энергоносителей в тоннах условного топлива.

В зависимости от назначения энергетические балансы могут характеризоваться следующими признаками:

- по назначению – отчетные и плановые;
- по видам энергоносителей – частные (по отдельным видам топлива и энергии) и сводные;

- по объектам изучения – балансы отдельных видов технологического оборудования, цехов и предприятия в целом;
- по принципам составления – аналитические, синтетические, нормализованные и оптимальные;
- по принципам оценки использования топлива и энергии – энтропийные (энтропия – поворот, превращение: например, процесс превращения топлива в энергию), эксергетические (от греч. ex – приставка, ergon – работа: максимально возможная работа, которую может совершить система при переходе из одного состояния в другое).

Отчетные балансы отражают фактические показатели производства и потребления энергии и топлива в истекшем периоде и фактический качественный уровень их использования. Плановые балансы являются основной формой планирования энергопотребления и энергоиспользования на предстоящий период. Аналитические балансы отражают глубину и характер использования подводимых энергоносителей. Они служат основой для оценки энергетической эффективности рассматриваемых процессов. Оптимальным энергетическим балансом является такой вариант его, при котором объем планируемого выпуска продукции осуществляется с минимальными затратами энергии.

Для более достоверной оценки эффективности энергоиспользования сложных систем, включающих электрическую энергию, топливо и тепловую энергию различных параметров, используют эксергетический баланс, с помощью которого определяется работоспособность (эксергия) технологических и энергетических установок.

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

- общая производственная и энергетическая характеристика предприятия (объемы и номенклатура выпускаемой продукции, ее себестоимость с выделением энергетической составляющей);
- описание схемы материальных и энергетических потоков;
- перечень и характеристика основного энергоиспользующего оборудования;
- данные о расходах энергоносителей;
- данные о работах по рациональному использованию энергии на предприятии.

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

Контрольные вопросы

1. Каковы цели и методы внутреннего энергетического аудита организации?
2. Назовите основных потребителей энергии на предприятии.
3. Содержание и порядок проведения энергоаудита организации.
4. Какие вопросы должны быть отражены в общей характеристике организации при проведении энергетического обследования?
5. По каким направлениям проводится обследование предприятия при оценке его эффективности?
6. Укажите уровни иерархии энергосистемы промышленного предприятия.
7. Приведите классификацию энергетических балансов по виду и целевому назначению.
8. Какие методы используются для составления энергетических балансов промышленных предприятий?
9. С использованием, каких соотношений проводится расчетный анализ энергетических балансов?
10. Каким образом можно рассчитать эффект от реализации организационно-технических мероприятий (ОТМ)?
11. Приведите классификацию норм расхода топливно-энергетических ресурсов.
12. С использованием каких соотношений производится расчет норм расхода топливно-энергетических ресурсов?
13. Какие вспомогательные критерии применяются для анализа энергопользования?
14. Как классифицируются ОТМ по экономии ТЭР?
15. В каком государственном стандарте Республики Беларусь установлены требования к проведению энергоаудита? Назовите эти требования.
16. Назовите основные цели и задачи энергетического менеджмента на предприятии.
17. Назовите основные цели и задачи энергоаудита на предприятии.
18. Назовите основные функции энергетического менеджмента.
19. По каким причинам служба энергосбережения (отдел, управление) предприятия должна тесно взаимодействовать с руководством предприятия?
20. Какие документы должна включать вновь созданная система энергосбережения менеджмента?
21. Что включает в себя Декларация энергетической политики предприятия?
22. Назовите принципы распределения обязанностей и ответственности за проведение работ по энергосбережению.
23. На кого возлагается ответственность за функционирование системы по энергосбережению?
24. Кто координирует деятельность по энергосбережению?
25. Кто несет ответственность за реализацию программы по энергосбережению?
26. По каким направлениям выполняются энергосберегающие мероприятия?
27. С какой целью проводится энергоаудит?
28. Какие организации Республики Беларусь могут выполнять работы по проведению энергоаудита?

29. Какие документы должно получить руководство предприятия по результатам энергоаудита?
30. Какие Вы знаете виды энергоаудитов?
31. Назовите последовательность проведения энергетического аудита.
32. С какой целью необходимо производить сбор данных о потреблении энергоресурсов, их анализ?
33. Какие субъекты хозяйствования подлежат обязательному энергетическому аудиту?
34. Чему равен интервал между энергетическими обследованиями?
35. Какая информация предоставляется предприятием при энергоаудите в общей характеристике?
36. Назовите семь основных направлений при обследовании энергопользователей.
37. Из каких средств оплачивается работа по энергетическому аудиту?
38. Что такое «Энергетический баланс предприятия»?
39. По каким признакам могут характеризоваться энергетические балансы?
40. Что включает в себя понятие «энтропийные принципы оценки использования топлива и энергии»?
41. Что включает в себя понятие «эксергетические принципы оценки использования топлива и энергии»?
42. Какие показатели отражают отчетные балансы?
43. Какие показатели отражают плановые балансы?
44. Какие показатели отражают аналитические балансы?
45. В виде каких данных может быть представлена информация для составления и анализа энергетического баланса?
46. Каковы цели и методы внутреннего энергетического аудита организации?
47. Назовите основных потребителей энергии на предприятии.
48. Содержание и порядок проведения энергоаудита организации.
49. Какие вопросы должны быть отражены в общей характеристике организации при проведении энергетического обследования?
50. По каким направлениям проводится обследование предприятия при оценке его эффективности?
51. Укажите уровни иерархии энергосистемы промышленного предприятия.
52. Приведите классификацию энергетических балансов по виду и целевому назначению.
53. Какие методы используются для составления энергетических балансов промышленных предприятий?
54. С использованием каких соотношений проводится расчетный анализ энергетических балансов?
55. Каким образом можно рассчитать эффект от реализации организационно-технических мероприятий (ОТМ)?
56. Приведите классификацию норм расхода топливно-энергетических ресурсов.
57. С использованием каких соотношений производится расчет норм расхода топливно-энергетических ресурсов?
58. Вспомогательные критерии для анализа энергопользования.
59. Как классифицируются ОТМ по экономии ТЭР?

