



В. Л. Ганжа

ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

теория и практика
энергосбережения

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова

В. Л. Ганжа

ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

теория и практика
энергосбережения



Минск
«Белорусская наука»
2007

УДК 620.9

Ганжа, В. Л. Основы эффективного использования энергоресурсов : теория и практика энергосбережения / В. Л. Ганжа. – Минск : Беларус. наука, 2007. – 451 с. – ISBN 978-985-08-0810-3.

В книге изложены теоретические основы и практические аспекты эффективного использования топливно-энергетических ресурсов. Сделана попытка в доступной форме интегрально представить некоторые знания из технической термодинамики, теплопередачи, строительной теплофизики, специальных курсов по котельным установкам, паровым и газовым турбинам и т. д., необходимые для анализа процессов, лежащих в основе применяемых технологий, работы машин и механизмов, аппаратов и технических устройств с позиций эффективности использования энергии.

Изложены принципы энергетического менеджмента, основанного на максимально возможной экономии топливно-энергетических ресурсов. Имеется раздел, посвященный нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии.

Книга должна быть полезной для студентов и преподавателей высших и средних специальных учебных заведений, научных работников, инженеров и практиков, занимающихся проблемами энергосбережения, эффективного использования топливно-энергетических ресурсов.

Табл. 56. Ил. 109. Библиогр.: 121 назв.

Р е ц е н з е н т ы:

член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор физико-математических наук, профессор Н. В. Павлюкевич;
доктор физико-математических наук, профессор А. К. Федотов

ISBN 978-985-08-0810-3

© Ганжа В. Л., 2007

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Белорусская наука», 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Несмотря на то что энергосбережение уже давно заявило о себе как о серьезной науке, до сих пор не существует книги, в которой были бы цельно изложены его теоретические принципы.

С момента введения в учебные планы высших и средних специальных учебных заведений курсов лекций, касающихся основ эффективного использования топливно-энергетических ресурсов (энергосбережения), появилось достаточно большое количество пособий и другой вспомогательной литературы. Однако в большинстве своем она носит как бы ознакомительный, описательный характер, не затрагивая физико-технических основ дисциплины в той мере, которая необходима для анализа процессов, лежащих в основе применяемых технологий, работы машин и механизмов, аппаратов и технических устройств с позиций эффективности использования энергии.

Очевидно, это объясняется тем, что авторы пособий полагают, что вопросы анализа энергоэффективности освещаются в курсах технической термодинамики, теплопередачи, строительной теплофизики, специальных курсах по котельным установкам, паровым и газовым турбинам и т. д. Однако следует иметь в виду, что в подавляющем большинстве случаев студенты, которым читаются курсы по основам энергосбережения, не имеют в своих учебных программах вышеперечисленных дисциплин.

В аналогичной ситуации находятся и работники предприятий и организаций, которым по роду их деятельности необходимо в той или иной мере повседневно заниматься проблемами энергосбережения.

Задача, которая была поставлена перед написанием данной книги, состояла в том, чтобы, не дублируя вышеназванные учебные курсы (предметы), вооружить студентов, инженерно-технических работников и всех, интересующихся проблемами эффективного использования энергии, содержащимися в них знаниями (квинтэссенцией), дающими возможность разобраться в физико-технических основах протекающих процессов и аппаратов, их реализующих, с целью овладения ключом к анализу энергоэффективности и определению (выбору) путей ее повышения, создания новых перспективных энергоэффективных технологий и машин.

Большое внимание уделено новому энергетическому менеджменту, основанному на максимально возможной экономии топливно-энергетических ресурсов.

Содержатся разделы, которые или слабо освещены, или вообще отсутствуют в учебной литературе, например, посвященные энергетической безопасности государства, прогнозированию (на базе математических моделей) энергопотребления, оценке экономической целесообразности инвестиций в мероприятия по повышению энергоэффективности и т. д.

Кроме того, в структурном отношении и по содержанию книга построена таким образом, чтобы в зависимости от рода деятельности интересующегося энергосбережением, специализации учебного заведения, программы преподаваемых дисциплин, количества часов, выделенных на основы энергоэффективности (энергосбережения), уровня подготовки можно было безболезненно выбирать необходимый объем материала путем купирования других разделов или глав. В связи с этим возможны некоторые повторы.

Автор надеется, что книга будет полезна как студентам, так и широкому кругу специалистов в области энергосбережения, инженерам, менеджерам, преподавателям, аспирантам.

Большая помощь в компьютерном оформлении рисунков была оказана С. Г. Горошевичем и Е. Погарской, которых автор искренне благодарит.

ВВЕДЕНИЕ

Получение топливно-энергетических ресурсов в необходимом количестве – одна из главных проблем современного мира. Особая роль энергетических ресурсов в жизнедеятельности общества чрезвычайно ярко была продемонстрирована во время нефтяного кризиса 1973–1974 гг. 70-е и начало 80-х годов явили подлинную революцию в подходах к энергопотреблению в индустриальных странах, сумевших, практически не увеличивая потребление энергоресурсов, наращивать валовой национальный продукт. При этом коренной перестройке подверглись их экономики в структурном, технологическом, научном и техническом отношениях.

Энергосбережение как направление по экономии ТЭР появилось значительно раньше, однако как реальный метод в решении энергетической проблемы получило широкое признание во время первых нефтяных кризисов. Энергосбережение – это не просто экономия ТЭР, а в первую очередь повышение энергоэффективности по всей цепочке – от добычи до конечного потребления.

И хотя с физической точки зрения это название не совсем корректное, так как энергия сохраняется и без участия человека, такой подход в настоящее время является наиболее распространенным и породил направление, получившее за последние годы достаточно серьезную научную базу. Собственно энергосбережение – это, по большому счету, грамотный энергетический менеджмент, обеспечивающий экономию энергоресурсов и, как следствие, финансовых средств. Красноречивой иллюстрацией к этому может служить ставший в какой-то мере классическим следующий пример, демонстрирующий опыт США.

После первого нефтяного кризиса при росте потребления энергии с 1973 по 1987 г. всего лишь на 3,2% валовой национальный продукт США вырос с 2 трлн 744 млрд долларов до 3 трлн 847 млрд долларов, т. е. на 40,2%. За это время население увеличилось на 34 млн человек, число домовладений возросло на 20 млн единиц, которые необходимо обогревать в зимнее время и охлаждать – в летнее, на дорогах появилось дополнительно 50 млн транспортных средств. При этом условная экономия энергии (в денежном эквиваленте) по сравнению с 1973 г. составила примерно 150 млрд долларов в год, т. е. величину, сопоставимую с дефицитом федерального бюджета. Вместе с тем интересно отметить, что если бы Соединенные Штаты были столь настойчивы в энергосбережении, как их конкуренты в Европе и Японии, то легко достигли бы экономии в 200 млрд долларов в год. А простым выбором наиболее энергоэффективного оборудования суммарную экономию можно было бы довести к концу XX в. до нескольких триллионов долларов – суммы, достаточной, чтобы рассчитаться с национальным долгом.

В развитых капиталистических странах Европы при росте валового национального продукта (ВНП) на 13% потребление энергии в 1985 г. оказалось на 6% даже ниже, чем в 1979 г. В Японии, ВНП которой повышался в 1980–1985 гг. в среднем на 4,6% в год, энергопотребление не увеличивалось совершенно. Столь отдаленный экскурс в историю сделан для того, чтобы получить наиболее яркую иллюстрацию эффективности нового энергетического менеджмента, который последовал за нефтяным кризисом 1973–1974 гг. (на начальном этапе экономически целесообразный потенциал энергосбережения был большим и легко доступным, к тому же в определенной мере тот потенциал в западном мире коррелируется с нашим нынешним). Его плоды достаточно показательны и сегодня. Например, за последние 20 лет энергоемкость валового национального дохода в мире снизилась в среднем на 18%, а в экономически развитых странах – на 21–27%, т. е. вклад нового энергетического менеджмента очевиден.

Сделав главную ставку на энергоэффективность, новый энергетический менеджмент, воцарившийся в экономически развитых странах, создал почву для весьма оптимистических прогнозов ми-

Диаграмма потребления энергии

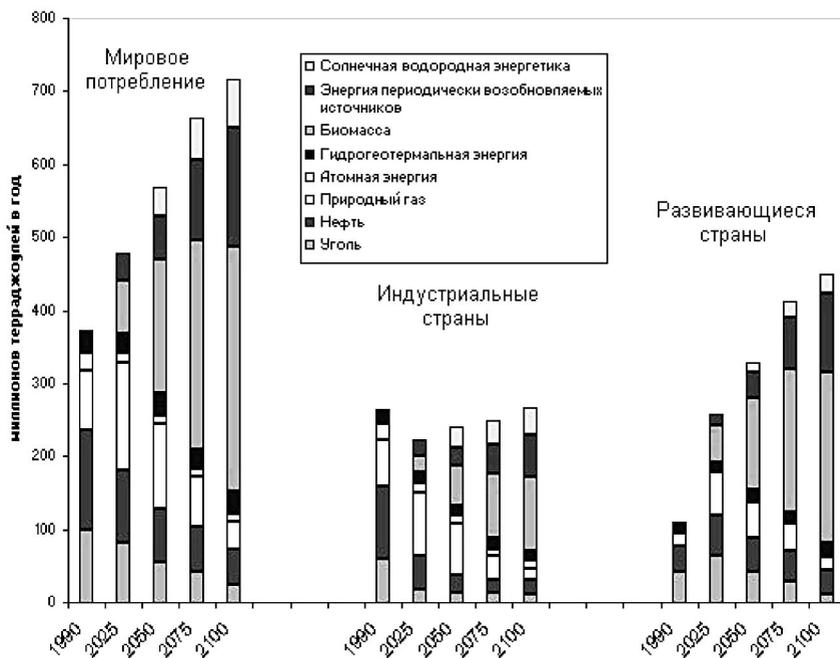


Рис. 1. Прогноз динамики мирового энергетического баланса

рового потребления ТЭР, т. е. лишь незначительного его роста, даже в отдаленной перспективе, причем в основном за счет развивающихся стран (рис. 1, «Bioenergy Primer», United Nations Development Programme, New York, NY 10017, USA. 2000). К тому же не только прирост, но и львиную долю суммарного потребления предполагается обеспечить за счет возобновляемых источников энергии, что также связано с понятием «энергосбережение».

Значительны успехи нового энергетического менеджмента и в Беларуси. Если в первые годы после приобретения самостоятельности при резком экономическом спаде было трудно дифференцировать вклад энергосбережения в общее сокращение потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), то начиная с 1996 г. его доля существенна.

В период с 1996 г. по настоящее время энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) снизилась на 37–41%. По данным такого авторитетного независимого мирового источника, каким является Международное Энергетическое Агентство ЕЭК ООН, в 2004 г. энергоемкость ВВП, исчисляемого по паритету покупательной способности, Республики Беларусь составила 0,43 кг (в нефтяном эквиваленте) на доллар США (против 0,49 – в России и 0,50 – в Украине), что значительно приблизило Беларусь к передовым развитым странам (Канада – 0,28, Финляндия – 0,26, США – 0,22). Еще более сложная задача стоит перед страной в период 2006–2010 гг. – уменьшить энергоемкость ВВП на 25–30% при росте его на 143–150%. Чтобы добиться успеха, необходимо совершенствовать энергетический менеджмент на всех иерархических уровнях – от предприятия до министерства (ведомства).

Энергетический менеджмент имеет много определений, акцентирующих внимание на тех или иных его гранях. Как и всякий менеджмент, энергетический менеджмент означает управление производством, транспортом, распределением и потреблением энергии, основанное на принципах предельно возможной ее экономии на всех стадиях. Это – система принципов, методов, средств и форм управления энергетикой (производством – потреблением), которые разрабатываются и используются для повышения эффективности деятельности, связанной с энергообеспечением.

Анализ мировой практики показывает, что для создания энергоэффективной экономики следует рекомендовать систему, основанную на концепции, что, несмотря на большое значение ценового фактора – стоимости энергоресурсов в стимулировании эффективного их использования, главную роль в его практическом осуществлении играет политика, проводимая государством (правительством).

Как известно, существуют два подхода к энергосбережению: рыночный, сторонники которого полагают, что рынок сам вынудит производителя заниматься энергосбережением, чтобы выстоять в конкурентной борьбе; и государственного регулирования, главным инструментом которого является нормирование потребления топливно-энергетических ресурсов. Примером действенности вто-

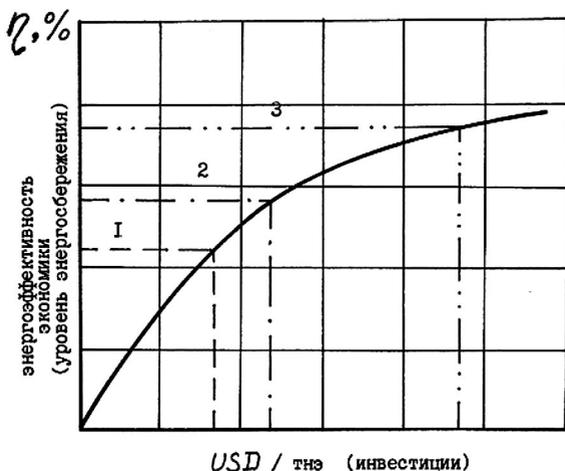


Рис. 2. Уровень энергоэффективности как функция объема инвестиций: 1 – в случае действия рыночных механизмов; 2 – рынок + правительство; 3 – правительство

рого подхода, т. е. государственного регулирования, является Япония – мировой лидер в области энергоэффективности. На практике, естественно, в чистом виде такие подходы не существуют, но в системах, принятых различными странами, первый или второй механизмы преобладают.

Казалось бы, классическая рыночная экономика предполагает инвестирование в энергоэффективность как бесспорно прибыльный бизнес. Однако практика показала ограниченность классического подхода. Предел участия рынка определяется уровнем с двухгодичным сроком возврата инвестиций (рис. 2); при создании государством благоприятных условий (льготные кредиты, налоги, пошлины и т. д.) этот уровень может несколько увеличиваться. И лишь правительство способно довести его до экономически целесообразного и общественно полезного. Только государство способно создать инфраструктуру, которая в дальнейшем даст возможность существенно повысить энергоэффективность экономики.

За последние десятилетия «энергосбережение» сложилось как комплекс знаний, позволяющих научно и практически обоснованно рационально использовать топливно-энергетические ресурсы. Принятие оптимальных решений в области энергосбережения начина-

ется с анализа эффективности использования энергии изучаемым объектом, для чего необходимы знания, прежде всего, по термодинамике, не менее важны знания физико-технических основ процессов, протекающих в данном объекте, а также машин, механизмов и аппаратов, их реализующих, для оценки эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия – знания экономического характера и т. д.

Ниже излагается материал, составляющий основы знаний об энергоэффективности.

Раздел 1

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

1. СУЩНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Энергия, основные виды и единицы измерения

Три главные взаимосвязанные проблемы острейшим образом стоят сегодня перед человечеством: питания, энергии и экологии. В ряду перечисленных проблема энергии занимает особое место, так как от ее решения во многом зависит судьба экономики, а следовательно, упадок или процветание общества, и, с другой стороны, – степень воздействия на окружающую среду.

Энергия всегда играла важную роль в жизни человека. Все виды его деятельности связаны с затратами энергии. На протяжении веков производство энергии предшествовало научно-техническому прогрессу, и доступные ее виды, а также способы использования оказывали непосредственное влияние на общество.

Так, в XIX в. повсеместное использование угля, изобретение паровой машины, достижения в области химии и сталелитейной промышленности явились предпосылкой первой промышленной революции. Открытие электричества оказало глубочайшее воздействие на жизнь всего человечества и содействовало зарождению и росту крупнейших городов мира. В XX в. разработка все более быстрыми темпами других видов ископаемого топлива – нефти и природного газа – наряду с развитием гидроэнергетики и освоением энергии атома позволила промышленно развитым странам осуществить грандиозные преобразования, которые и сформировали современный мир со всеми его противоречиями, проблемами и надеждами. Но каждый виток вверх по спирали исторического развития сопровождается более высоким уровнем потребления энергии.

Энергия (от греческого слова *energeia* – действие, деятельность), определяемая сначала физиками как способность выполнять рабо-

ту, после непреложного доказательства превращения одного ее вида в другой стала называться **общей мерой различных форм движения материи**.

Соответственно многообразию форм движения материи существуют различные виды энергии: *механическая* (энергия механического движения), *тепловая* (энергия хаотического движения больших количеств частиц – молекул, атомов, ионов), *электромагнитная* (энергия магнитного поля), *ядерная*, или *атомная* (энергия, связанная с взаимодействием ядерных частиц), *гравитационная* (энергия гравитационного поля – поля тяготения) и др.

В механических системах весьма популярными формами являются кинетическая энергия, представляемая как

$$E = \frac{1}{2}mv^2, \quad (1.1)$$

где m – масса тела, кг; v – скорость движения массы m , м/с; и потенциальная энергия –

$$E = mgz, \quad (1.2)$$

где g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$); z – высота подъема массы m , м.

Энергия может превращаться из одной формы в другую. Хорошо известны такие превращения, как:

химическая энергия → теплота → механическая работа;

электрическая энергия → теплота → свет;

механическая энергия → теплота;

ядерная энергия → теплота → электричество → механическая работа.

Таким образом, очевидно, что существует фундаментальная эквивалентность в цепочке

работа → теплота → энергия,

т. е. они идентичны.

При этом мощность остается мощностью независимо от того, является ли она механической, электрической или тепловой, и определяется как

$$N = \frac{dE}{d\tau} = \dot{E}, \text{ Вт (Ватт)}, \quad (1.3)$$

т. е. мощность представляет собой скорость доставки энергии системой или устройством. В частном случае мощностью называется скалярная величина, характеризующая скорость выполнения работы – Дж/с (Джоуль в секунду).

В современной науке энергия и три составляющие линейного момента мыслятся как различные аспекты единого 4-мерного векторного количества, подобно тому, как время рассматривается в качестве одного из аспектов 4-мерного пространственно-временного континуума. Энергия – скалярная величина.

Эйнштейн первым установил, что масса сама является одной из форм энергии, на что указывает хорошо известное соотношение $E = mc^2$, которое может быть интерпретировано таким образом, что если массу m превратить в энергию, то количество полученной энергии определится произведением массы на квадрат скорости света. Так как c – величина большая ($3 \cdot 10^8$ м/с), огромное количество энергии содержится в элементарной материи, но на данном этапе развития науки и техники нереально обратить эту массу в полезную энергию.

Возможны два качественно различных способа передачи движения и соответствующей ему энергии от одного макроскопического тела к другому – путем совершения работы и путем теплообмена.

Под *работой* понимается процесс взаимодействия одного тела с другим или другими, в результате чего изменяется механическое движение этого тела или его положение по отношению к другим телам.

Под *теплообменом* понимается процесс обмена энергией между телами, осуществляющийся путем непосредственного взаимодействия либо между молекулами и атомами этих тел (процессы теплопроводности и конвективного теплообмена), либо между молекулами и атомами одного тела и частицами (фотонами) электромагнитного излучения, испускаемого другими телами (лучистый теплообмен).

Изменения энергии тела в процессах совершения работы и теплообмена называются соответственно **работой** и **теплотой**. Поэтому единицы количества энергии такие же, как работы и теплоты.

В Международной системе единиц СИ – это джоуль (Дж, J). Используются и внесистемные единицы; в энергетике часто употребляются

калория (кал, cal)	1 кал = 4,19 Дж
ватт-час (Вт·ч, Wh)	1 Вт·ч = $3,6 \cdot 10^3$ Дж
кг условного топлива в угольном эквиваленте (кг ут, kgce)	1 кг ут = 7 000 ккал = $29,33 \cdot 10^6$ Дж
кг условного топлива в нефтяном эквиваленте (кг нэ, kgoe)	1 кг нэ = 10 000 ккал = $41,9 \cdot 10^6$ Дж
тонна условного топлива в угольном эквиваленте (тут, tce)	1 тут = $29,33 \cdot 10^9$ Дж
тонна условного топлива в нефтяном эквиваленте (тнэ, toe)	1 тнэ = $41,9 \cdot 10^9$ Дж

Для исчисления больших количеств энергии и мощности используются следующие множители и приставки (табл. 1.1).

Т а б л и ц а 1.1. **Множители и приставки для исчисления больших количеств энергии и мощности**

Наименование приставки	Обозначение приставки		Множитель
	русское	международное	
экса	Э	E	10^{18}
пета	П	P	10^{15}
тера	Т	T	10^{12}
гига	Г	G	10^9
мега	М	M	10^6
кило	к	k	10^3
гекто	г	h	10^2
дека	да	da	10

Чтобы энергия была полезной, ее необходимо преобразовать из одного вида в другой (например, из топлива в электроэнергию), передать на расстояние и использовать. Этой областью деятельности занимается **энергетика**. Именно энергетика определяет сегодня «лицо цивилизации». С ней, в первую очередь, связана энергетическая проблема, актуальная практически для всех стран мира.

В чем же сущность этой проблемы?

Строго говоря, «энергетическая проблема» в действительности является топливной проблемой, потому что энергия не исчезает – сохраняется и лишь переходит из одной формы в другую или в вещество (материю), в то время как топливо, сгорая в химических или атомных реакторах, не может регенерировать.

1.2. Мировое потребление энергоресурсов

Проблемы отыскания и использования соответствующих видов энергии всегда интересовали людей, однако столь волнующими, как сегодня, они не были никогда. Повышенный интерес к ним понятен. Мировое потребление энергии стало соизмеримым с запасами горючих ископаемых – базой современной энергетики. То, что природой создавалось на протяжении геологических эпох (миллионов лет), расходуется в течение нескольких десятилетий. Люди осознают: во взаимодействии Человека с Природой происходит нечто очень серьезное, возможно, необратимое.

Сколько энергии потребуется человечеству в ближайшем и более отдаленном будущем? Как долго нынешние способы производства энергии будут удовлетворять потребность в ней? Может ли топливно-энергетический комплекс (ТЭК) нарушить экологическое равновесие планеты? Каким видам энергии суждено стать главными в будущем? Эти вопросы интересуют сегодня не только ученых и экономистов.

Где же скрываются главные корни энергетической проблемы? Чем обусловлен столь пристальный интерес к ней? Каковы объективные причины ее возникновения?

1.2.1. Объективные причины возникновения энергетической проблемы

1. Рост народонаселения

Рост народонаселения является одним из основных факторов увеличения энергопотребления в мире. И именно XX век ознаменовался мощным демографическим взрывом. Если за 1650 лет с начала новой эры население планеты увеличилось всего на 250 млн человек, то менее чем за 60 лет XX в. его рост составил 3 млрд человек (табл. 1.2).

Т а б л и ц а 1.2. Рост народонаселения

Годы	6000 до н. э.	начало н. э.	1650	1930	1988	2075
Количество населения	10 млн	250 млн	500 млн	2 млрд	5 млрд	12 млрд

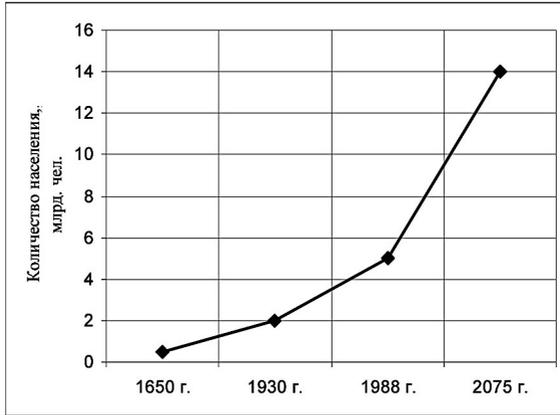


Рис. 1.1. Рост народонаселения

Математическая обработка данных о росте количества населения показывает, что с 1650 г. оно увеличивается экспоненциально (рис.1.1) и в настоящее время растет со скоростью 2,1% в год; время удвоения составляет 33 года. И если учесть, что только для поддержания жизни среднему взрослому человеку необходимы примерно 2000 ккал/сутки (т. е. средний взрослый человек представляет собой отрицательный источник, или сток, энергии мощностью примерно 100 Вт), станет понятна роль этого фактора в глобальном энергопотреблении.

Правда, 2000 ккал/сутки – это «пищевая» энергия. Но в дополнение к поддержанию жизни значительно больше энергии требуется для обеспечения или подъема жизненного уровня большинства жителей планеты. В целом средняя потребность человека в энергии в 15–25 раз превышает базисный, «для поддержания жизни», уровень; в США энергопотребление на душу населения примерно в 100 раз превышает величину жизненно необходимой энергии. Нации, особенно развитые, требуют огромные количества энергии, чтобы обеспечить тот уровень комфорта, который предоставляет им современная цивилизация.

Действительно, определенный оптимизм внушает то, что в развитых странах – основном потребителе топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – прирост населения значительно ниже, кроме того, согласно прогнозу, количество населения на планете в середине XXI в. должно стабилизироваться, достигнув насыщения, определяемого пределами 10–16 млрд чел. (примерно 12 млрд чел. к 2075 г.).

2. Рост потребления энергоресурсов с развитием цивилизации

С развитием цивилизации улучшается качество жизни: условия труда и быта, объем, характер и виды услуг, что, естественно, сопровождается ростом потребления энергии. В табл. 1.3 показаны примерные средние значения потребления энергии, характерные для различных ступеней развития человечества.

Т а б л и ц а 1.3. Рост потребления энергии

Уровень цивилизации	Потребление энергии, МДж/сутки
Первобытный человек	8,4
Охотник	21
Первобытный земледелец	50,4
Культурный земледелец	108
Человек «индустриальный»	321,5
Человек «технологический»	961

Научно-технический прогресс, тесно связанный с развитием общества, особенно в последний исторический период, обусловил резкий скачок в энергопотреблении. Правда, с другой стороны, способствуя повышению эффективности использования энергии, он же является и инструментом регулирования энергопотребления.

Как видно из табл. 1.3, подъем человечества по ступеням цивилизации сопровождался и продолжает сопровождаться значительным ростом потребления энергии. И это закономерный процесс. Причем цифры, приведенные в табл. 1.3, хорошо корреспондируются со сказанным в предыдущем параграфе. Предполагается, что в среднем глобальное потребление энергии на земном шаре во второй половине XXI в. будет в 30–40 раз превосходить жизненно необходимое.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5

Раздел 1

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

1. Сущность энергетической проблемы	11
1.1. Энергия, основные виды и единицы измерения	11
1.2. Мировое потребление энергоресурсов	15
1.2.1. Объективные причины возникновения энергетической проблемы	15
1.2.2. Основные тенденции в мировом топливно-энергетическом балансе	30
1.3. Пути решения энергетической проблемы	35
2. Энергетическая ситуация в Республике Беларусь (состояние и основные проблемы)	40
2.1. Топливо-энергетический баланс	40
2.2. Структура топливно-энергетического комплекса	47
2.3. Перспективы развития ТЭК	51
2.4. Энергетика и экология	54
3. Энергетическая безопасность: основные принципы и критерии	57
3.1. Сущность проблемы. Понятия и определения	57
3.2. Угрозы энергетической безопасности	61
3.3. Концепция и методы анализа энергетической безопасности	68
3.4. Энергетическая безопасность Республики Беларусь	72
3.4.1. Экспресс-оценка энергетической безопасности Республики Беларусь	72
3.4.2. Основные направления повышения энергетической безопасности Республики Беларусь	76
3.4.3. Диверсификация поставок ТЭР	80
4. Энергетика и макроэкономика	84
4.1. Основные энергетические макропоказатели	84
4.2. Макроэкономический анализ на базе энергетических критериев	86

5. Физико-технические основы энергетики	92
5.1. Традиционные источники энергии	92
5.2. Вертикально-водотрубный паровой котел	106
5.3. Паровые и газовые турбины	109
5.3.1. Паровые турбины	110
5.3.2. Коэффициент полезного действия турбины, ее мощность и расход пара	119
5.3.3. Газовые турбины	122
5.4. Физико-химические основы горения топлива	125
5.5. Сжигание топлива в псевдооживленном (кипящем) слое	135
5.5.1. Основные характеристики псевдооживленного слоя	145
6. Теоретические основы анализа энергоэффективности тепловых процессов	155
6.1. Термодинамический анализ	155
6.1.1. Основные понятия и определения	157
6.1.2. Основные законы и уравнения термодинамики	163
6.1.2.1. Первое начало термодинамики	163
6.1.2.2. Второе начало термодинамики	170
6.1.2.3. Основное уравнение термодинамики	173
6.1.3. Условия работы тепловой машины	175
6.1.4. Типы тепловых машин	178
6.1.4.1. Двигатели внутреннего сгорания	180
6.1.4.2. Циклы газотурбинных установок	184
6.1.4.3. Цикл двигателя внешнего сгорания	190
6.1.5. Теплосиловые паровые циклы	191
7. Анализ эффективности теплосиловых установок	199
7.1. Энтропийный метод расчета потерь работоспособности в необратимых циклах	200
7.2. Эксергетический метод термодинамического анализа	202
7.2.1. Эксергия и ее свойства	204
7.2.2. Анергия	212
7.2.3. Расчет эксергии; эксергетические диаграммы	213
7.2.4. Эксергетические балансы и характеристики технических систем	214
7.2.5. Анализ и термодинамическая оптимизация технических систем	218
7.3. Когенерация	224

Раздел 2

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

8. Энергетический менеджмент как средство повышения энергоэффективности	235
8.1. Основные определения и подходы	235
8.2. Энергетическая политика	238
8.3. Управление процессом повышения энергоэффективности	243
8.3.1. Правовое обеспечение	243
8.3.2. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении»	245
8.3.3. Регулирование энергопотребления как средство управления процессом повышения энергоэффективности	248
9. Прогнозирование (планирование) потребления топливно-энергетических ресурсов	257
9.1. Математическое моделирование энергопотребления	257
9.2. Планирование энергообеспечения по методу наименьших затрат (ресурсное планирование)	264
9.3. Анализ прогнозирования потребления ТЭР на базе упрощенной энергетической модели (на примере Беларуси)	266
10. Пути повышения энергоэффективности	279
10.1. Потенциал повышения энергоэффективности в промышленности	279
10.2. Энергетическое обследование (энергоаудит) как важный инструмент реализации потенциала энергосбережения	283
10.3. Структурная перестройка	288
10.4. Эффективное использование электроэнергии	291
10.4.1. Некоторые основные понятия и закономерности, используемые в электротехнике	295
10.4.2. Эффективность использования электроэнергии основными конечными потребителями	300
10.4.2.1. Основные принципы энергетического (электрического) менеджмента в системах жизнеобеспечения зданий	300
10.4.2.2. Использование электроэнергии в тепловых процессах	308
10.5. Энергетический менеджмент в строительных сооружениях	322
10.5.1. Некоторые теоретические предпосылки методики расчета теплотерь через ограждающие конструкции зданий и сооружений	326
10.5.2. Потери теплоты через ограждающие конструкции зданий и сооружений	328
10.5.3. Теплоустойчивость ограждающих конструкций	335
10.5.4. Сопrotивление паропрооницанию ограждающих конструкций	336

10.5.5. Сопротивление воздухопроницанию наружных ограждений .	338
10.5.6. Светопрозрачные ограждающие конструкции	340
10.5.7. Рекомендации по повышению энергоэффективности ограждающих конструкций	343
10.6. Вторичные энергоресурсы.	345
11. Расчет эффективности энергосберегающих мероприятий	349

Р а з д е л 3

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

12. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	361
12.1. Определения, основные виды и перспективы развития	361
12.2. Гидроэнергетические ресурсы	366
12.3. Ветроэнергетический потенциал	373
12.4. Солнечная энергия	380
12.4.1. Фотоэлектрический метод преобразования солнечной энергии в электрическую	381
12.4.2. Термодинамическое преобразование солнечной энергии . .	383
12.5. Геотермальные ресурсы.	389
12.6. Возможные альтернативные источники получения энергии и их потенциал в Республике Беларусь.	391
12.6.1. Биомасса.	393
12.6.2. Использование древесины как энергетического топлива . .	395
12.6.2.1. Виды древесного топлива.	398
12.6.2.2. Физические характеристики древесных видов топлива	402
12.6.2.3. Воздействие на окружающую среду.	408
12.6.3. Технологии получения энергии из биомассы (пригодные для производства теплоты, электроэнергии, топлива для ДВС и т. п.)	411
12.6.4. Термохимические процессы	411
12.6.4.1. Прямое сжигание для получения теплоты или теплоты и электроэнергии.	411
12.6.4.2. Пиролиз (газификация).	431
12.6.5. Гидрогенезация	437
12.6.6. Биохимические процессы	437
12.6.7. Агрохимические процессы (экстракция топлив).	441
12.6.8. Твердые бытовые отходы	441
12.6.9. Фитомасса	442
12.6.10. Отходы растениеводства	443
Литература	444

Научное издание

Ганжа Виталий Леонтьевич

**ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

теория и практика энергосбережения

Редактор *А. А. Баранова*

Художественный редактор *Т. Д. Царева*

Технический редактор *Т. В. Летьен*

Компьютерная верстка *Н. И. Кашуба*

Подписано в печать 23.04.2007 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага писчая. Гарнитура Таймс ЕТ.
Ризография. Усл. печ. л. 26,27. Усл. кр.-отг. 26,73. Уч.-изд. л. 20,2. Тираж 300 экз. Заказ № 100.

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука».
ЛИ № 02330/0131569 от 11.05.2005 г. 220141. Минск, ул. Ф. Скорины, 40.

Отпечатано в РУП «Издательский дом «Белорусская наука».