

20.1 я^М
Ю-91

В ДИП
ВУЗОВ

ИКИ

Ю.С. ЮСФИН
А.И. ЛЕОНТЬЕВ
П.И. ЧЕРНОУСОВ



ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

СН-291866

Ю.С. ЮСФИН
А.И. ЛЕОНТЬЕВ
П.И. ЧЕРНОУСОВ

УДК 602.01:621.167.1
БКК 20.17
№ 88

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки дипломированных
специалистов 651300 «Металлургия»

ca-291866

80



МОСКВА
ИКЦ «АКАДЕМКНИГА»
2002

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ КУЛЬТУРЫ
«ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
УНИВЕРСАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Н.К. КРУПСКОЙ»

ОГЛАВЛЕНИЕ

	692
	695
	702
	706
	708
	712
	713
	714
	715
	716
	717
	718
	719
	720
	721
	722
	723
	724
	725
	726
	727
	728
	729
	730
	731
	732
	733
	734
	735
	736
	737
	738
	739
	740
	741
	742
	743
	744
	745
	746
	747
	748
	749
	750
	751
	752
	753
	754
	755
	756
	757
	758
	759
	760
	761
	762
	763
	764
	765
	766
	767
	768
	769
	770
	771
	772
	773
	774
	775
	776
	777
	778
	779
	780
	781
	782
	783
	784
	785
	786
	787
	788
	789
	790
	791
	792
	793
	794
	795
	796
	797
	798
	799
	800
	801
	802
	803
	804
	805
	806
	807
	808
	809
	810

2.2.3.2.1. Парниковый эффект	109
2.2.3.2.2. Состояние озонового слоя	115
2.2.3.2.3. Антропогенное воздействие на ближний космос	120
2.2.3.3. Загрязнения и выбросы	122
2.2.3.3.1. Ядохимикаты и опасные отходы	124
2.2.3.3.2. Выбросы в атмосферу	155
2.2.3.3.3. Выбросы в водоемы	162
2.2.3.3.4. Выбросы в литосферу	167
2.2.4. Физический подресурс	168
2.3. Ресурсы	172
2.3.1. Классификация ресурсов	172
2.3.2. Природные ресурсы	173
2.3.2.1. Понятие "природные ресурсы"	173
2.3.2.2. Классификация природных ресурсов	175
2.3.2.2.1. Классификация природных ресурсов по происхождению	175
2.3.2.2.2. Классификация природных ресурсов по видам хозяйственного использования	176
2.3.2.2.3. Классификация природных ресурсов по признаку исчерпаемости	177
2.3.2.2.4. Несколько слов о "неисчерпаемости" природных ресурсов	179
2.3.3. Минеральные ресурсы	180
2.3.3.1. Классификация минеральных ресурсов	180
2.3.3.2. Ресурсы металлов	182
2.3.3.2.1. Месторождения, связанные с магматической деятельностью	185
2.3.3.2.2. Седиментационные рудные месторождения	186
2.3.3.2.3. Гидротермальные месторождения	192
2.3.3.2.4. Месторождения на океаническом дне	192
2.3.3.2.5. Оценка ресурсов металлов	193
2.3.3.3. Ресурсы нерудных материалов	194
2.3.3.3.1. Строительные материалы	194
2.3.3.3.2. Огнеупорные материалы	197
2.3.3.3.3. Эвапориты	197
2.3.3.3.4. Фосфориты	199
2.3.4. Топливо-энергетические ресурсы	199
2.3.4.1. Нефть	212
2.3.4.2. Природный газ	214
2.3.4.3. Уголь	214
2.3.4.4. Уран	217

Глава 3. ТЕХНОСФЕРА И ТЕХНОГЕННЫЕ РЕСУРСЫ

3.1. Техносфера	219
3.2. Техногенные ресурсы	237
3.2.1. Элементопотоки в техносфере	237
3.2.1.1. Принципы построения схемы движения элементов на примере черной металлургии	240
3.2.1.1.1. Современные представления о роли микроэлементов в металлургии железа	241
3.2.1.1.2. Источники микроэлементов при производстве продукции из железа	246
3.2.1.1.3. Распределение микроэлементов между основными фазами металлургических процессов	247
3.2.2. Определение характеристик и построение схемы элементопотока	261
3.2.3. Элементопотоки и формирование "техногенных месторождений"	288
3.2.4. Техногенные ресурсы	290
3.2.4.1. Классификация техногенных ресурсов	290
3.2.4.2. Металлолом	291
3.2.4.3. Металлофонд и техногенные ресурсы железа	293
3.2.4.4. Использование некоторых видов железного лома (на примере Японии)	297

3.2.4.5. Твердые бытовые отходы	299
3.2.4.6. Медицинские отходы	302
3.2.4.7. Отходы пластических материалов	303
3.2.4.8. Вскрышные породы	308
3.2.4.9. Золошлаковые отходы сжигания органических топлив	308
3.2.4.10. Движение техногенных ресурсов	310

Глава 4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ

4.1. Основные законы и правила управления ресурсами	312
4.1.1. Закон ограниченности (исчерпаемости) природных ресурсов ("закон Мальтуса")	312
4.1.2. Правило конкурентного использования ресурсов	313
4.1.3. Закон убывающей отдачи	314
4.1.4. Правило социально-экологического равновесия	314
4.1.5. Закон падения природно-ресурсного потенциала	315
4.1.6. Закон "шагреновой кожи"	315
4.1.7. Закон неустрашимости отходов и/или побочных воздействий производства	316
4.1.8. Правило меры преобразования природных систем	318
4.1.9. Качество изделий – важнейший ресурс	319
4.1.10. Закон суммирования ресурсов, или интегрального ресурса	319
4.1.11. Закон лимитирующего ресурса	319
4.1.12. Закон согласования управления ресурсами и состояния окружающей среды	320
4.1.13. "Венок законов" Коммонера	320
4.2. Проблемы и правила суммирования ресурсов	323
4.3. Природные и техногенные ресурсы	326
4.4. Жизненный цикл изделия	339
4.5. Экобалансы и методика их расчета	341
4.5.1. Принципиальная расчетная схема и исходная информация для составления экобаланса	341
4.5.2. Пример составления экобаланса	344
4.5.2.1. Расчет количества слябов МНЛЗ	345
4.5.2.2. Расчет количества жидкой стали ККЦ и необходимого для ее производства первичного металла и лома "со стороны"	345
4.5.2.2.1. Расчет количества жидкой стали для МНЛЗ	345
4.5.2.2.2. Расчет количества ферросплавов	346
4.5.2.2.3. Расчет расхода известки в ККЦ	346
4.5.2.2.4. Определение состава сталеплавильного шлака	347
4.5.2.2.5. Количество жидкого чугуна, необходимого для производства стали в ККЦ	349
4.5.2.3. Определение параметров производства первичного металла	350
4.5.2.3.1. Расчет состава железорудного концентрата	350
4.5.2.3.2. Расчет состава агломерата	352
4.5.2.3.3. Расчет параметров производства чугуна	353
4.5.2.4. Расчет количества железорудного концентрата	354
4.5.2.5. Расчет количества угольного концентрата	355
4.5.2.6. Расчет количества электроэнергии и потребности в энергетическом угле	358
4.5.2.7. Расчет потерь металлургических материалов при транспортировке	359
4.5.2.8. Определение показателей добычи железной руды, металлургических углей и флюса	360
4.5.2.9. Определение расхода энергии	360
4.5.2.10. Расчет баланса железа	360
4.5.2.11. Расчет баланса серы	364
4.5.2.12. Расчет баланса углерода	367
4.5.2.13. Расчет выбросов пыли	372
4.5.2.14. Расчет выбросов газов	372
4.5.2.15. Схема движения основных материалов	375
4.5.3. Показатели, характеризующие структуру экобаланса	375
4.5.3.1. Показатели расхода природных материальных ресурсов	375

4.5.3.2. Показатели энергосбережения	377
4.5.3.3. Параметры выбросов в окружающую среду	378
4.5.4. Оценка экобалансов производства проката для различных схем подготовки сырья к доменному переделу	378
4.5.5. Оценка эффективности основных технологических схем производства жидкой стали	381
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	384
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	386
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	395
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	416
Глава 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ ПРОИЗВОДСТВО	436
5.1. Понятие "экологически чистое производство"	436
5.2. Энергопотребление	441
5.3. Материалосбережение и рециклинг	446
5.4. Оценка выбросов в окружающую среду	459
ЛИТЕРАТУРА	468

2.3.4. ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Энергия является одной из важнейших потребностей производства. Решение любой задачи экономического или технического развития, любого аспекта проблемы окружающей среды немислимо без затрат энергии и энергоресурсов. В последние годы проблема энергии и использования энергоресурсов стала все чаще рассматриваться как в связи с прогнозами развития человечества на предстоящее столетие, так и в контексте решения вопросов охраны окружающей среды. Совершенно очевидно, что если человечество не обеспечит себя достаточным количеством энергии, то и прогнозы развития, и планы отдаления экологического кризиса окажутся беспредметными.

Как известно, почти все виды энергии на нашей планете имеют один первоначальный источник, а именно: энергию радиации звезд и главным образом самой близкой к нам звезды – Солнца. Солнце ежесекундно посылает на Землю энергию, равную $4 \cdot 10^{13}$ ккал. Из общей величины солнечной радиации, поступающей на внешнюю границу атмосферы, только половина достигает земной поверхности. Из этого количества 7% отражается обратно в мировое пространство.

Другая часть солнечной радиации (43%) поглощается атмосферой, гидросферой, литосферой и биосферой Земли. Энергия, поглощаемая атмосферой и гидросферой, принимает форму испарения, выпадения осадков, движения ветра, волн и частично океанских течений и др. Энергия, поглощаемая биосферой, благодаря процессам фотосинтеза воплощается в биомассу растений и животных на суше и в океане. Энергия, поглощаемая литосферой, выступает в виде тепловой и химической энергии.

На Земле существуют также виды энергии, непосредственно не связанные с солнечной радиацией. Это, например, ядерная энергия, внутривоздушная тепловая энергия, энергия приливов и течений. Эти формы энергии являются результатом действия гравитационных сил и сил вращения Земли, электромагнетизма, внутренних свойств веществ и др.

В распоряжении человека имеются пять источников энергии: 1) *солнечная радиация*; 2) *ядерная энергия*; 3) *энергия гравитационного поля* нашей планеты; 4) *внутреннее тепло* Земли и 5) *энергия, возникающая в результате вращения Земли и циркуляции атмосферы*. Разумеется, энергия гравитационного поля Земли присутствует во многих других видах энергии, однако для упрощения анализа ее целесообразно рассматривать лишь в форме гидроэнергии рек и приливной энергии. Необходимо также учитывать, что кроме энергии, заключенной в органическом веществе, огромное количество солнечной энергии заключено в мириадах химических соединений, образованных в различные геологические периоды формирования нашей планеты.

Энергетические ресурсы делятся на две главные категории – невозобновляемые и возобновляемые. К невозобновляемым энергетическим ресурсам относятся углеводородные топлива – уголь, нефть, природный газ, горючие сланцы, торф и т.д., так называемые легкие элементы (водород, гелий, литий) и ядерное топливо, т.е. такие материалы, которые могут выделять энергию в процессе распада и синтеза атомных ядер. К возобновляемым энергетическим ресурсам относятся энергия процесса фотосинтеза, энергия прямого использования солнечных лучей, гидроэнергия, энергия приливов и волн, энергия процессов испарения и выпадения осадков, ветровая энергия, тепловая энергия, основанная на разности температур между атмосферой и поверхностью суши и воды, геотермальная энергия и др.

Несмотря на столь большой арсенал источников энергии человек в основном использует лишь некоторые из них, отдавая предпочтение одному виду энергетических ресурсов – углеводородным топливам. Мускульная сила людей и животных, древесина, использовавшаяся в качестве топлива, и ветер были главными источниками энергии еще сравнительно недавно – каких-нибудь 120–150 лет назад. На смену им пришли сначала уголь, затем нефть и природный газ. В последнее время к этим трем видам топлива прибавилось и ядерное горючее.

Удельный вес энергии воды в энергобалансе мира, несмотря на почтенный стаж ее работы на благо человечества, все еще очень невелик. Применение геотермальной энергии (энергии горячих подземных вод и вод, находящихся в недрах Земли под большим давлением) можно считать находится лишь в начальной стадии. Также в начальной фазе пребывает и промыш-

ленное использование энергии солнечных лучей, приливной энергии и энергии ветра.

Современная энергетика в основном базируется на горючих ископаемых – угле, нефти, природном газе. Если принять, что в мире добывается ежегодно порядка 6 млрд т (1979 г.) условного топлива (с теплотворной способностью 7000 ккал/кг), то в среднем на одного человека в мире придется 1,7 т условного топлива. Естественно, эта цифра различна для разных стран. Например, в США она составляет 10,5 т, а в Индии – всего 0,2 т, т.е. в 50 раз меньше. При сжигании каждая тонна условного топлива дает 7 млн ккал. Таким образом, энергия ежегодно добываемого топлива составляла в 1979 г. $42 \cdot 10^{15}$ ккал.

Мощность всех промышленных и транспортных энергетических установок в мире составляла в 1980 г. 6 млрд кВт. При этом мощность энергоустановок США (6% населения Земли) равнялась почти 2 млрд кВт. Душевое потребление энергетической мощности было также наиболее высоким в США, оно составляло в 1980 г. 10 кВт на душу населения, тогда как в СССР – 5 кВт, в Японии – 3 кВт, в Индии – 0,5 кВт на душу населения. Среднемировое потребление значительно ниже, оно равно лишь 1,7 кВт на душу населения.

В целом характерен рост потребления электроэнергии. В 1970 г. ее мировое потребление в 2 раза превысило уровень 1960 г. и составляло 6000 млрд кВт·ч. Если такой прирост сохранится и в будущем, то к 2010 г. мировое потребление электроэнергии превысит уже 100 000 млрд кВт·ч. Для производства этой электроэнергии потребуется примерно 250 000 млрд кВт·ч тепловой энергии, т.е. необходимо на электростанциях сжечь столько топлива, чтобы получить $217 \cdot 10^{15}$ ккал.

Энергию получают тремя путями: производя тепло сжиганием топлива (например, для обогрева), прямым преобразованием тепловой энергии в работу (транспорт) и, наконец, получением специального вида энергии – электроэнергии (для производства этого вида энергии применяется наряду с топливом гидроэнергия, ядерная энергия, энергия ветра и т.д.). Электроэнергия является вторичным энергоресурсом, так как ее получают с затратой энергии.

Электроэнергия играет роль удобного посредника между источниками и потребителями энергии. Главными недостатками электричества как вида энергии являются:

– сильное негативное воздействие на окружающую среду при горении топлива (выбросы в окружающую среду), производство электроэнергии на базе ядерного топлива или при производстве электроэнергии на гидроэлектростанциях (уничтожение экосистем на затопленных территориях, нарушение водного режима, урон рыбному хозяйству и т.п.);

– низкий КПД ее производства (30–40%) и использования (30–35%).

Источниками электроэнергии в среднем в мире являются, %: нефть – 40, уголь – 20, природный газ – 19, АЭС – 12, ГЭС и др. – 9.

В Российской Федерации в 1990 г. эти показатели составляли, %: тепловые электростанции, работающие на твердом, жидком и газообразном топливе – 73,8, гидроэлектростанции – 15,1, АЭС – 11,1, а доля источников электроэнергии распределялась следующим образом, %: уголь – 30, нефть – 38,8, газ – 5,9, ядерная энергия – 21, торф, сланцы и др. – 1,7, прочие – 2,6.

Потребление электроэнергии разными отраслями народного хозяйства в 1985 г. представляло следующую картину, %:

Страна	Промышленность	Транспорт	Сельское хозяйство	Быт	Потери
США	33,3	2,8	4,2	45,7	14,0
СССР	51,4	6,9	4,6	17,1	20,0

Распределение всех источников энергии между отраслями промышленности в такой стране, как США, выглядит следующим образом (1985 г.):

1) транспорт – 25%. Подавляющая часть потребностей в энергии покрывается нефтепродуктами, из которых на автотранспорт расходуется 41%, грузовой автотранспорт – 25, авиация – 13, железнодорожный, речной и морской транспорт – 21%;

2) быт – 36%. Большая часть расходов (61%) приходится на обогрев, горячее водоснабжение, кондиционирование и обеспечивается природным газом;

3) промышленность – 39%, потребности в энергии которой покрываются (%) углем – 27, природным газом – 21, нефтью – 40, гидроэнергией – 4 и атомной энергией – 8.

Общее производство энергии в мире в 80-е годы XX в. составляло, 10^8 Дж/год:

СССР – 68,5;	Индия – 6,1;	Алжир – 3,6;
США – 58,2;	Ирак – 5,5;	Нигерия – 2,8;
Китай – 25,9;	Польша – 5,3;	Бразилия – 2,2;
Великобритания – 9,7;	Венесуэла – 5,1;	Ливия – 2,2;
Канада – 9,7;	Иран – 4,4;	Египет – 2,1;
Саудовская Аравия – 9,7;	ФРГ – 4,4;	Аргентина – 1,8;
Мексика – 7,3;	ЮАР – 4,0;	Колумбия – 1,5.

Важно иметь в виду, что между источниками энергии и конечным ее использованием всегда проявляется четкая связь. Так, на нужды транспорта направляется только жидкое топливо и, скажем, рост ядерных источников энергии в этом не может заменить отсутствие нефти.

Производство энергии в мире постоянно увеличивается. В среднем за 1860–1956 гг. годовой прирост выработки энергии составлял 3,75% с некоторыми колебаниями, достигая иногда 5–6%. Однако за 1958–1961 гг. этот темп значительно вырос и в 1961–1964 гг. равнялся в среднем 19% в год. Так продолжалось и в последующие годы. Например, в США резко увеличилась выработка энергии, начиная с 1967 г. В числе причин увеличения темпов производства энергии в мире: развитие отраслей промышленности с высоким потреблением энергии; дальнейшая электрификация производственных процессов, сферы обслуживания и быта; усиление процессов индустриализации в различных странах, в том числе и в развивающихся.

Бурный рост производства энергии в последние годы, осуществляемый в основном на базе использования угля, нефти и природного газа, привел, в свою очередь, и к быстрому росту добычи этих видов топлива. Их запасы, еще недавно считавшиеся неисчерпаемыми, в последнее время все чаще об-

ращают на себя внимание исследователей своей "конечностью" и возможностью уже относительно быстрого истощения. Эти обстоятельства вынуждают произвести оценку энергетических ресурсов земного шара и, прежде всего, запасов горючих ископаемых.

Годовая добыча трех видов топлива (нефть, газ, уголь) в 1970 г. составляла 6 млрд т у. т., т.е. около 0,15% от всей экономически целесообразной выработки их мировых запасов. Если принять далее, что каждые 20 лет происходит удвоение темпов добычи топлив, то можно подсчитать, через какое количество лет из недр Земли будут извлечены все доступные разработке запасы топливных ресурсов. Подсчет показывает, что через 75 лет, т.е. к 2050 г., практически все экономически рентабельные запасы горючих ископаемых будут исчерпаны. Если же допустить, что дальнейшая геологическая разведка и повышение коэффициента извлечения приведут к увеличению доступных запасов, например в 8 раз, то в таком случае эти запасы иссякнут не в 2050 г., а в 2110, т.е. не через 75 лет, а через 140 лет.

По данным американских ученых экономически рентабельные запасы топлива в США будут истощены через 75–100 лет, а общие потенциальные запасы через 150–200 лет.

Конечно, все эти прогнозы связаны с различными предположениями и могут колебаться в достаточно широких пределах. Одно только совершенно ясно. При всех условиях "топливные кладовые" Земли будут опустошены в обозримое время. Таким образом, перед человечеством нависает катастрофа исчерпания запасов горючих ископаемых, являющихся одновременно и ценнейшим химическим сырьем. Особенно острым это положение представляется в отношении нефти и природного газа, доля которых в ежегодно сжигаемых количествах энергетического топлива все время возрастает и составляет в последнее время 70%. А если учесть, что горючие ископаемые составляют основу современных энергоресурсов, то складывающееся положение с природным газом, нефтью и углем нельзя не рассматривать как надвигающийся "энергетический голод".

Необходимость перехода человечества на новые виды энергии, не связанные с сжиганием топлива, диктуется, таким образом, следующими причинами:

- возможностью исчерпания запасов углеводородного топлива, и прежде всего природного газа и нефти, в обозримое время;
- потребностью в нефти, природном газе и угле как ценнейших базовых сырьевых материалах для химической индустрии;
- опасностью загрязнения окружающей среды, прежде всего, из-за выбросов в нее огромных количеств углекислого газа и других соединений, образующихся в результате сжигания углеводородных топлив;
- все увеличивающейся потребностью в энергии и ростом общественных затрат для ее производства.

Рассмотрим энергетические системы, использование которых осуществляется или потенциально может осуществляться человеком. Условно эти системы можно разделить на основанные на непрерывных или возобновляемых источниках энергии (1–3 из рассмотренных ниже систем) и основанные на невозобновляемых источниках энергии (4–7 из рассмотренных ниже систем).

К *первой энергетической системе* следует отнести энергию, возникающую в результате действия гравитационных сил, вращения Земли, молеку-

лярного движения (разница температур между атмосферой, литосферой и гидросферой), движения приливов и волн, движения воздуха (ветер), а также геотермальную энергию. Эта энергетическая система издавна использовалась и используется человеком.

Например, энергия ветра приводит в движение парусные суда, вращает жернова мельниц, качает воду в пустынях; поставленные на пути воздушного потока ветровые электростанции неприхотливы и надежны в работе. Сила тяжести масс воды в реках, зарегулированных плотинами, используется в гидравлических турбинах, соединенных генераторами тока. Гравитационные силы также находят применение в приливных гидроэлектростанциях.

Существенное преимущество первой энергетической системы заключается в том, что источники энергии являются практически бесконечными по времени своего действия. Кроме того, использование человеком этой системы не влечет за собой каких-либо серьезных экологических последствий; исключение составляют гидроэнергетические проекты, реализация которых, как известно, вызывает определенные нарушения в окружающей среде (затопление территорий, изменение гидрометеоусловий и др.).

К числу наиболее существенных недостатков энергоисточников этой системы, кроме геотермальной энергии, относятся: неравномерность распределения на поверхности земного шара; ирритичность действия во времени, отчего возникает нежелательная периодичность в получении расчетных количеств энергии от этих источников; известная ограниченность запасов этих видов энергоресурсов на нашей планете. Запасы гидравлической, приливной, волновой и ветровой энергии хотя и велики по современным понятиям, но совершенно недостаточны в свете потребностей в энергии, скажем, на 2010 г. По некоторым оценкам ресурсы первой системы смогут удовлетворить энергетические потребности мира в 2010 г. лишь на 6–10%. Поэтому надо считать малоперспективным развитие этой системы в качестве главного направления решения мирового энергетического кризиса в будущем. Наряду с этим, однако, не следует пренебрегать вероятностью применения названных видов энергии в определенных районах земного шара и при определенных условиях.

Вторая энергетическая система связана с жизнедеятельностью живых организмов. Она включает в себя использование солнечной энергии в процессе фотосинтеза растений, а также энергию жизнедеятельности микроорганизмов. Солнечный свет, солнечное тепло и, возможно, космические лучи являются первоисточниками энергетических процессов, происходящих в живой материи. Использование человеком этой энергетической системы проявляется в форме применения мускульной силы как человека, так и животных, в процессах ферментации и микробиологического воздействия в промышленном и сельскохозяйственном производстве, а также в форме получения тепла при сжигании топлива растительного и животного происхождения.

Как и первая, эта энергетическая система является практически неограниченной, самовосстанавливаемой и возобновляемой. В этом заключается ее главное преимущество. Энергия пищи превращается в мышечную энергию путем идущего в организме процесса медленного беспламенного окисления. В принципе живой организм позволяет производить мгновенное преобразование энергии из одной формы в другую с достаточно высоким коэф-

фициентом полезного действия. Однако в реальных системах живых организмах как источниками энергии свойствен целый ряд недостатков. К числу их, прежде всего, относятся большие потери тепловой энергии в процессе метаболизма, т.е. в процессе обмена веществ в самом организме и организмов со средой.

Вторая энергетическая система, как и первая, представляет собой процесс не прямого, а косвенного использования солнечной энергии. В ней преобразование энергии осуществляется через живые организмы, т.е. через биомассу, в которой идет процесс химического превращения солнечной энергии в энергию роста, движения, мускульного действия.

До последнего времени живое вещество как средство преобразования энергии из одной формы в другую, как источник энергии на Земле всерьез исследователями-энергетиками не рассматривалось. Это объяснялось простой причиной – наличием большого количества не прошедших стадии окисления остатков живого вещества в форме нефти, природного газа и угля. Однако сегодня живое вещество все чаще и настойчивее привлекает внимание исследователя как возможный в далекой перспективе преобразователь энергии, как аккумулятор энергии, способный, вероятно, полностью и абсолютно решить проблему энергии и энергетических ресурсов на земном шаре.

Общая годовая мировая продукция фотосинтеза на нашей планете оценивается сугубо ориентировочно в 80 млрд т, что примерно в 10 раз превышает количество добываемого ежегодно топлива. Вопрос заключается в следующем: возможно ли осуществление процесса фотосинтеза вне рамок живого организма, возможно ли создание искусственного механизма преобразования солнечной энергии в химическую с достаточно высоким коэффициентом полезного действия? Многие видные ученые приходят к выводу, что в принципе такой путь получения энергии возможен. В частности, академик Н.Н. Семенов в свое время высказал предположение о том, что в подобном механизме можно повысить КПД использования солнечной энергии до 20%, т.е. сделать его вдвое больше “биологического” КПД процесса фотосинтеза в растениях.

Под *третьей энергетической системой* мы понимаем прямое использование солнечной энергии в фотоэлектрических и термоэлектрических процессах. В рамках этой системы человек может получать тепловую или электрическую энергию с помощью электрохимических реакций и оптической концентрации световых лучей солнца.

Преимущество третьей энергетической системы заключается в том, что в ней осуществляется прямое преобразование солнечной энергии непосредственно в тепловую или электрическую. К ее положительным сторонам относится также возможность в сравнительно небольших масштабах аккумулировать энергию биохимическим или электрохимическим способами. Недостатком является невозможность ее применения в больших масштабах.

Указанная энергетическая система издавна привлекает внимание исследователей своей кажущейся простотой, однако все попытки создать эффективные солнечные батареи наталкивались на трудности, связанные с огромными размерами этих батарей или с высокой стоимостью их преобразовательных элементов. Надо полагать, что непосредственное превращение солнечного излучения в другие виды энергии будет и в перспективе иметь

лишь ограниченный характер. Правда, уже созданы и эффективно работают солнечные плиты для приготовления пищи, небольшие паровые котлы, насосные установки и т.п. Вряд ли есть серьезные основания ожидать сколько-нибудь крупного прорыва в исследованиях в области прямого применения энергии солнечных лучей как в обозримом, так и далеком будущем.

Четвертая энергетическая система основана на невозобновляемых энергоисточниках. В рамках этой системы тепловую и электрическую энергию получают путем сжигания углеводородных топлив, таких, как уголь, нефть, природный газ, горючие сланцы и т.п. На сегодня этот метод производства энергии является наиболее известным и достаточно эффективным средством для удовлетворения энергетических потребностей общества.

Важное преимущество четвертой энергетической системы – возможность удобно хранить, перевозить и управлять энергоисточниками. Ее главные недостатки: большие тепловые и эксплуатационные расходы, загрязнение окружающей среды продуктами сгорания, а также наметившийся дефицит в запасах горючих ископаемых и необходимость их сохранения в качестве металлургического и химического сырья.

Углеводородное топливо сейчас обеспечивает практически все нужды человечества в энергии. Несмотря на симптомы зарождения энергетического кризиса, четвертой энергетической системе будет по-прежнему уделяться огромное внимание. При этом будут решаться задачи достижения наивысшей эффективности и экономичности энергоустановок, работающих на углеводородном топливе. Задача состоит также в изыскании путей экономии энергии за счет снижения энергоемкости производства, энерговооруженности предприятий и транспортных средств.

Наметившийся дефицит горючих ископаемых, с одной стороны, и огромные преимущества использования этого вида топлива, особенно для транспортных средств – с другой, вынуждают исследователей во всех странах мира обеспечивать дальнейшее совершенствование существующих и поиск новых видов тепловых двигателей, работающих в рамках четвертой энергетической системы. Модернизация классических двигателей внутреннего сгорания (карбюраторных и дизельных) сопровождается поиском новых конструкций роторных двигателей и дальнейшим усовершенствованием паротурбинных и газотурбинных установок. Однако ни газотурбинные установки, ни новые роторные двигатели не решают главного вопроса – увеличения коэффициента полезного действия. И даже, наоборот, в ряде случаев они привели к его уменьшению. В различных странах мира ведутся разработки новых направлений более эффективной утилизации углеводородного топлива в целях получения тепловой, механической и электрической энергии. Можно полагать, что работы по улучшению конструкции двигателя внутреннего сгорания будут продолжаться и дадут некоторые позитивные результаты. Главным критерием для оценки успехов этих работ будет достижение более высокой экономичности двигателя в отношении расхода жидкого топлива, запасы которого на Земле с каждым годом уменьшаются.

Пятая энергетическая система включает в себя методы получения энергии путем использования внутриядерных процессов. Тепловая и электрическая энергия в рамках этой системы могут быть получены как в результате процессов расщепления атомного ядра, так и в результате термоядерной реакции (реакции синтеза атомных ядер). Главным преимуществом пя-

той энергетической системы является возможность поместить энергоустановку в любом районе земного шара, снабдив ее на длительное время необходимым количеством специально приготовленного ядерного топлива.

Недостатки установок на ядерном горючем: высокая стоимость их изготовления и производства топлива для них; необходимость принятия дорогостоящих мер по защите окружающей среды от радиоактивности; трудности избавления от радиоактивных отходов. Наиболее серьезной проблемой является проблема ядерного горючего. Применяемые в настоящее время оксид урана и другие виды ядерного топлива являются весьма дефицитными материалами. Кроме того, стоимость урана с каждым годом повышается вследствие роста спроса на него и уменьшения его запасов. К недостаткам пятой системы следует также отнести и тот факт, что сегодня она практически непригодна для применения в транспортных средствах, особенно в автомобильном, железнодорожном и авиационном транспорте. Ядерная энергия пока что может использоваться главным образом лишь для получения тепла и электроэнергии. К сожалению, еще не созданы достаточно емкие и надежные аккумуляторы, которыми можно было бы оборудовать все транспортные средства. Более того, сегодня все еще нельзя считать целесообразным широкий переход на атомные двигатели и в морском транспорте из-за высокой стоимости атомных установок и трудностей, связанных с их эксплуатацией.

Дальнейшее развитие пятой энергетической системы сопряжено со значительными трудностями. Предстоит проделать большой объем фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ, выбрав приоритетное стратегическое направление разработок, так как фронт исследований настолько широк, что не позволяет вести работы по всем возможным направлениям.

Не менее трудны для решения и такие вопросы, как надежность самих реакторов, транспортировка ядерного топлива (главным образом, плутония), избавление от радиоактивных отходов, уничтожение старых реакторов и ремонт реакторов, борьба с тепловым загрязнением, отходами добывающей уран промышленности и др.

Кроме технических проблем, развитие атомной энергетики в случае, если она будет единственной формой получения энергии на Земле, встретит очень серьезные проблемы, связанные с нехваткой воды и возможным изменением климата. Огромные количества тепла, выделяемые в процессе работы реакторов, значительно увеличат тепловое загрязнение водоемов и атмосферы и вызовут потепление поверхности планеты, что неминуемо скажется на ее климате. Следовательно, проблемы развития атомной энергетики будут тесно связаны с решением уже достаточно острой проблемы водных ресурсов и ограничениями климатического и экологического характера.

Шестая энергетическая система также относится к группе систем, основанных на использовании невозобновляемых энергоресурсов. Это система биогеохимического преобразования. Тепловая энергия в рамках этой системы есть результат химических реакций с участием нитратов и фосфатов и других, сходных с ними веществ.

Эти соединения, как известно, используются в растениеводстве в качестве удобрений. Энергетическое действие нитратов и фосфатов в этом случае

является совершенно уникальным, однако косвенным с той точки зрения, что человек эту энергию утилизирует через пищевую цепь или путем использования растений и животных. Непосредственное получение энергии с помощью фосфатов и нитратов, к сожалению, пока неуправляемое, осуществляется лишь через действие взрывчатых веществ. Взрывчатые вещества, особенно на нитратной основе, могут дать энергию в больших количествах, но очень кратковременного действия.

Применение взрывчатых веществ в мирных целях широко известно. Можно упомянуть использование направленных взрывов для проходки шахт, прокладки траншей, возведения плотин и т.д. В промышленности взрыв применяется для обработки металлов. Формование взрывом в последние годы стало широко распространенной технологической операцией, основанной на действии высоких энергий в течение очень короткого периода времени. Сегодня трудно оценить потенциальные возможности энергоисточников шестой энергетической системы. Однако не исключено, что применение взрывчатых веществ для производства энергии в будущем может оказаться возможным, как оказалось возможным осуществить в реакторах атомных электростанций управляемую реакцию расщепления атомного ядра.

Формирование энергоисточников этого своеобразного "топлива" биогеохимического происхождения связано с воздействием живого вещества на косное. Как известно, живое вещество воздействует на литосферу геохимически. "Давление" жизни на неживое вещество настолько велико, что в нем происходят структурные изменения вещества, накапливается огромная энергия "внутренних напряжений", которая после известной подготовки может "разряжаться". Вопрос заключается в том, можно ли управлять этим процессом. Ведь в принципе и процесс сгорания углеводородов, и процесс взрыва нитратных соединений являются аналогичными и представляют собой реакции окисления и замещения. Разница между этими процессами заключается в скорости прохождения реакции: в одном она медленная, в другом — очень быстрая.

И, наконец, *седьмая энергетическая система* также основана, строго говоря, на использовании невозобновляемых ресурсов. Здесь источник энергии — водород. Интерес к водороду как к топливу возник давно, прежде всего в авиации. Однако в наши дни в свете вероятного энергетического кризиса возможность получения и применения водорода рассматривается в более широком плане. Потенциально водород в форме газа и сжиженного газа представляет собой хорошую замену жидкому топливу, метану и природному газу в промышленности, на транспорте и в быту.

Водород имеет целый ряд ценных качеств, выделяющих его из других видов топлива. Прежде всего, водород может быть получен из воды, запасы которой на Земле достаточно велики. При сжигании водород образует воду и очень малые количества азотных окислов, что делает его чрезвычайно ценным в экологическом отношении. Водород можно транспортировать как по трубам, так и на танкерах в сжиженном виде. Его легко хранить, в том числе в подземных газохранилищах. Водород может широко применяться как топливо и как ценный химический элемент, необходимый, в частности, в металлургии.

К недостаткам водорода как коммерческого топлива следует отнести, во-первых, опасность его возгорания и взрывоопасность и, во-вторых, слож-

ность и все еще высокую стоимость его получения из воды. Что касается первого недостатка, его, очевидно, можно не принимать столь серьезно, так как развитие техники идет параллельно росту обеспечения безопасности, тем более, что даже применение бензина и газа опасно для людей, если не приняты надлежащие меры. Более серьезной проблемой является задача производства водорода как коммерческого топлива.

Как известно, водород может быть получен путем электрохимической реакции расщепления молекул воды на водород и кислород. Однако этот процесс очень дорог и сам требует много энергии. Более перспективны термохимические реакции, обеспечивающие это расщепление. Последние значительно дешевле, требуют в 4–5 раз меньших затрат энергии и обладают высоким КПД преобразования энергии.

Возможность получения водорода путем термохимической реакции с использованием низкотемпературного тепла (700–900 °С вместо 2500 °С, необходимых для электрохимического расщепления молекулы воды) открывает перспективы широкого применения тепла атомных реакторов для производства водорода в больших масштабах и значительного снижения стоимости водорода. Это становится тем более заманчивым, что таким образом решается не только проблема получения водорода, но и проблема утилизации тепла атомных реакторов, которое представляет реальную угрозу тепловому балансу в биосфере.

Поиск новых более эффективных и менее опасных термохимических методов получения водорода будет продолжаться в будущем и, по-видимому, есть все основания рассчитывать на успехи в этом поиске, так как возможности решения проблемы водорода могут снять многие серьезные проблемы, выдвигаемые потребностями развития мирового энергетического хозяйства. Чрезвычайно важным стимулом в этом поиске является высокий коэффициент полезного действия преобразования энергии при получении водорода с помощью термохимических процессов.

Мы рассмотрели семь основных энергетических систем, в рамках которых решались, решаются и, вероятно, будут решаться проблемы получения энергии и использования энергоресурсов для удовлетворения нужд человечества. Рассмотрим теперь критерии оценки энергоисточников в свете необходимости решения этих проблем. При этом мы не будем касаться многих природных и технических характеристик энергоисточников, имея в виду, что существует обширная описательная и справочная литература, в которой эти сведения приводятся. Наша задача будет заключаться в выборе некоторых специфических критериев, отражающих современные направления решения энергетической проблемы. Таких критериев существует много, мы остановимся лишь на главных из них.

В качестве первого критерия следует назвать физико-химические качества энергоисточников. Например, чем выше калорийность топлива, тем оно ценнее. С другой стороны, чем ниже его зольность, тем выгоднее эксплуатация данного топлива и т.д.

Второй критерий – географическое размещение энергоисточников: условия нахождения, доступность для добычи. Этот критерий также не нуждается в особых комментариях.

Третьим критерием является стоимость добычи, переработки и транспортировки энергоисточников к месту их первичного потребления. Сегодня

на этот критерий следует взглянуть несколько иными глазами, чем, скажем, 30 или 50 лет тому назад. Известно, например, что добыча нефти или газа на суше проще, чем в открытом море, однако в настоящее время нефтяные вышки упорно "шагают" в море и даже в открытый океан, так как нефти на суше становится все меньше и меньше. Известно также, что переработка угля в жидкое или газообразное топливо обходится пока значительно дороже, чем использование нефти или природного газа, однако сегодня различные страны все чаще и чаще вынуждены прибегать к подобной переработке из-за нехватки газа и нефти.

Четвертый критерий связан с вероятностью и экономической целесообразностью переработки одних видов энергоресурсов в другие с тем, чтобы иметь возможность уменьшить стоимость хранения топлива либо обеспечить энергией подвижные транспортные средства. Примером является получение из угля жидкого и газообразного топлива. В соответствии с этим критерием не каждый энергоисточник может быть использован, например, в транспорте или в различных нагревательных устройствах. Так, использование ядерного топлива для этих целей возможно лишь после превращения его в электроэнергию.

Пятый критерий характеризует возможность достижения наивысшего коэффициента полезного действия при преобразовании энергии из одной формы в другую. Этот критерий также не нуждается в особых комментариях, так как совершенно очевидно, что чем выше тепловой КПД энергоустановки в зависимости от применяемого топлива, тем оно выгоднее.

И, наконец, шестой критерий охватывает понятия безопасности использования энергоисточников для человека и окружающей среды. Если применительно к человеку этот критерий был известен давно, то в отношении окружающей среды на него стали обращать внимание сравнительно недавно в связи с загрязнением ее окислами серы и азота, а также повышением содержания углекислого газа в атмосфере. В качестве другого примера можно назвать радиоактивность, возникающую при применении ядерных топлив.

Изложенное выше позволяет сделать определенные выводы и сформулировать некоторые предложения о путях решения проблемы получения энергии и использования энергетических ресурсов.

1. Проблему нельзя рассматривать в отрыве от проблем окружающей среды, водных ресурсов и состояния воздушного бассейна, перспектив дальнейшего экономического прогресса, технологического развития. Другими словами, подход к решению энергетической проблемы должен быть системным. Взаимосвязь между проблемами в процессе развития человеческой цивилизации усиливается, и уже в наши дни становится практически невозможным прогнозировать решение любой из проблем в отрыве от решения других.

2. Сама энергетическая проблема в свою очередь должна рассматриваться как совокупность системных категорий. К ним относятся рассмотренные выше энергетические системы, в рамках каждой из которых должны учитываться: наличие, размеры и доступность запасов энергоисточников; возможность преобразования энергии этих источников в тот или иной вид используемой человеком энергии; возможность аккумуляирования энергии, создания запасов энергоисточников, а также их транспортировки; пути

утилизации энергии наиболее экономичным образом и без неблагоприятных экологических последствий.

3. Возможность реализации той или иной энергетической системы находится в тесной зависимости от принятых или достигнутых показателей качества окружающей среды или решений, проводимых в экономической и технологической областях. Эта возможность будет также определяться критериями оценки энергоисточников, рассмотренными выше. Развитие тех или иных видов энергоисточников станет во все большей степени подчиняться режиму экономии как с точки зрения расходования энергоресурсов при преобразовании энергии из одной формы в другую, так и с точки зрения использования энергии.

4. Экологические требования неизбежно будут заставлять человека производить все более и более "чистую" энергию, не оказывающую влияния на качество окружающей среды.

5. Прогноз решения энергетического кризиса должен учитывать перспективы освоения водных ресурсов. Вероятно, в понятие комплексного использования водных ресурсов должна органически входить возможность получения с их помощью энергии. Чрезвычайно важным является также соображение о теплоспособности водных ресурсов, рассматриваемой как источник энергии. Программное исследование водных ресурсов с точки зрения получения энергии нельзя, вероятно, ограничивать лишь вопросами создания гидроэлектростанций и гидронасосных сооружений. Важные тепловые процессы, связанные с водой (испарение, выпадение осадков, морские и воздушные течения), требуют к себе пристального внимания и исследования. Именно вода переносит огромное количество тепловой энергии с одного места в другое. Понять и научиться использовать низкотемпературные тепловые градиенты поверхностных и атмосферных вод – чрезвычайно интересная и перспективная задача для исследователей.

6. Решение энергетической проблемы будет определяться успехами научно-технического прогресса. Прогнозировать развитие энергетических систем без прогноза успехов технологии было бы, по меньшей мере, ошибочным. Развитие энергетики традиционно обслуживается определенными сферами технологии. Вероятно, прогноз развития этих сфер в зависимости от других смежных областей научно-технического прогресса мог бы сослужить хорошую службу в деле анализа возможных направлений решения проблемы энергии.

Рассмотрим положение дел с ресурсами различных видов ископаемых топлив.

К категории топливно-энергетических ресурсов относят полезные ископаемые, используемые для производства энергии: нефть, каменные и бурые угли, горючие газы, битумные сланцы, уран.

Каждый вид топливно-энергетического сырья обладает определенной теплотворной способностью. Например, при сжигании 1 т каменного угля в среднем выделяется около $28 \cdot 10^3$ МДж энергии, бурого угля – около $14 \cdot 10^3$ МДж, 1 т нефти – около $42 \cdot 10^3$ МДж, 1 тыс. м³ природного газа – $39 \cdot 10^3$ МДж. Для сравнения различных видов топлива, а также для общих топливно-энергетических расчетов используют следующие единицы:

Таблица 2.48

Запасы энергетических полезных ископаемых, 1998 г.

Виды ископаемых топлив	Разведанные запасы			Общие запасы		
	массовые единицы	тыс. ПДж	%	Кратность запасов, лет	массовые единицы	тыс. ПДж
Угли, млрд т:	1075	16 172	70	218	13 868	313 150
бурые	523	6188				
Нефть, млрд т	124	5184	16	41	354	14 822
Газ, трлн м ³	109	4346	14	58	271	10 526
Битуминозные сланцы, песчаники, млрд т		Нет данных			6,8	19 035
Всего		31 890	100			358543

– тонна условного топлива в угольном эквиваленте (т у.т. в уг. экв.). Его теплота сгорания аналогична теплоте сгорания 1 т антрацита ($7 \cdot 10^6$ ккал или $27,91 \cdot 10^3$ МДж).

– тонна условного топлива в нефтяном эквиваленте (т у.т. в нефт. экв.), имеющая теплоту сгорания 1 т нефти (10^6 ккал или $41,87 \cdot 10^3$ МДж).

Оценка состояния мировых топливно-энергетических ресурсов производится на мировых энергетических конференциях (МИРЭК), учрежденных в 1924 г. Одна из последних оценок разведанных месторождений приведена в табл. 2.48.

Гидроэнергетический потенциал рек оценивается в 102 млн ПДж. Еще 111,6 млн ПДж можно выработать, используя приливо-отливные и волновые колебания Мирового океана. Общий энергетический потенциал мира составляет, таким образом, примерно 560 млн ПДж. В 1990 г. ежегодно потреблялось различных видов топливного сырья 338 тыс. ПДж, что в 1000 раз меньше мирового энергетического потенциала.