

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого»  
Кафедра «Электроснабжение»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПОСОБИЕ

для магистрантов специальностей  
1-43 80 01 «Электроэнергетика и электротехника »  
и 1-43 80 03 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
дневной и заочной форм обучения

*Учебное электронное издание  
комбинированного распространения*

Гомель 2025

УДК 621.311.017(075.8)

ББК 31.19я73

Э65

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 9 от 24.05.2022 г.)*

Составители: *Н. В. Грунтович* (гл. 1–6), *С. Г. Жуковец* (гл. 7)

Рецензент: зав. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *В. В. Тодарев*

**Энергоэффективные** технологии в энергетике и промышленности : пособие для  
Э65 магистрантов специальностей 1-43 80 01 «Электроэнергетика и электротехника» и 1-43  
80 03 «Теплоэнергетика и теплотехника» днев. и заоч. форм обучения / сост.: Н. В.  
Грунтович, С. Г. Жуковец. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – 275 с. – Систем.  
требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD  
16 Mb ; дис- ковод CD-ROM ; мышь ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. –  
Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-556-5.

Рассмотрены энергетические эпохи и технологические уклады, энергия и ее виды, энергетические законы, закономерности и правила, а также сущность и значение инноваций, технологическое развитие энергетики. Охарактеризованы документы, регламентирующие научно-техническую и инновационную деятельность в Беларуси и в России, переход к V и VI технологическим укладам. Изучены вопросы нормативно-методического обеспечения оценки эффективности инвестирования инновационных проектов. Освещены энергоёмкость и эффективность, эксергия и эксергетический КПД, представлены основные направления и сценарии развития мировой энергетики, энергосберегающие технологии в промышленности.

Для магистрантов технических специальностей дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.311.017(075.8)

ББК 31.19я73

ISBN 978-985-535-556-5

© Грунтович Н. В., Жуковец С. Г.,  
составление, 2025

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2025

# Содержание

Глава 1. Энергия – как движущая сила в развитии человечества.....	5
1.1. Энергетические эпохи и технологические уклады .....	5
1.2. Энергия и ее виды .....	10
1.3. Энергетические законы, закономерности, правила .....	17
1.4. Законы экологии .....	35
Литература .....	40
Глава 2. Инновационное развитие и его особенности.....	42
2.1. Сущность и значение инноваций .....	42
2.2. Технологическое развитие энергетики.....	51
Литература.....	65
Глава 3. Основные законодательные и нормативные документы, обеспечивающие инновационное развитие и энергосбережение. российский и белорусский опыт .....	67
3.1. Характеристика документов, регламентирующих научно-техническую и инновационную деятельность в Республике Беларусь .....	67
3.2. Переход к V и VI технологическим укладам .....	84
3.3. Характеристика документов, обеспечивающих инновационное развитие энергетики России .....	97
3.4. Концепции, программы и комплексные планы энергетического комплекса Республики Беларусь.....	108
Характеристика электроэнергетического и газового секторов .....	108
Литература .....	125
Глава 4. Современные методы оценки эффективности новшеств.....	128
4.1. Нормативно-методическое обеспечение оценки эффективности инвестирования инновационных проектов .....	128
4.2. Основные показатели достоинства проектов .....	142
4.3. Техничко-экономическая оценка инвестиционных проектов.....	143
4.4. Оценка инвестиционных проектов в условиях тождества результата .....	149
4.5. Степень экономичности сопоставляемых результатов.....	153
4.6. Отступления от оптимального варианта .....	155
4.7. Приведение вариантов к сопоставимому виду.....	156
4.8. Нормативно-параметрические методы определения технико-экономических показателей новшеств .....	157
4.9. Функционально-стоимостной анализ применения новшеств .....	160
4.10. Риски инновационной деятельности.....	162

4.11. Метод расстановки приоритетов для выбора целесообразного варианта новшества в системах электроснабжения военных объектов .....	166
4.12. Управление инновационными процессами в энергетике .....	168
Литература .....	177
Глава 5. Методы и критерии оценки эффективности использования энергии .....	179
5.1. Энергоемкость и эффективность .....	179
5.2. Эксергия и эксергетический КПД .....	182
Литература .....	191
Глава 6. Основные направления и сценарии развития мировой энергетики .....	193
6.1. Цели устойчивого развития .....	193
6.2. Направления динамичного изменения современных энергосистем .....	200
6.3. Понятия интеллектуализации, цифровизации, децентрализации и декарбонизации энергетики .....	201
6.4. Сценарии развития энергетики мира, разработанные Международным энергетическим агентством .....	210
6.5. Инвестиции в мировую энергетику .....	222
Литература .....	225
Глава 7. Энергосберегающие технологии в промышленности .....	229
7.1. Энергосбережение в химической промышленности .....	229
7.2. Энергосбережение в нефтеперерабатывающей промышленности .....	232
7.3. Энергосбережение в машиностроении .....	235
7.4. Энергосбережение в металлургии .....	239
7.5. Энергосбережение в целлюлозно-бумажной промышленности .....	243
7.6. Энергосбережение в промышленности стройматериалов .....	247
7.7. Энергосбережение в текстильной и легкой промышленности .....	254
7.8. Энергосбережение в пищевой промышленности .....	259
7.9. Энергосбережение на транспорте .....	266
7.10. Перечень типовых мероприятий по энергосбережению .....	267
Литература .....	274

# Глава 1. ЭНЕРГИЯ – КАК ДВИЖУЩАЯ СИЛА В РАЗВИТИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

**1.1. Энергетические эпохи и технологические уклады.**  
**1.2. Энергия и ее виды. 1.3. Энергетические законы, закономерности, правила. 1.4. Законы экологии.**

## **1.1. Энергетические эпохи и технологические уклады**

Энергия играет решающую роль в развитии человечества. Прогресс цивилизации, подъем ее на новый уровень промышленного производства и более высокий в среднем уровень жизни происходил каждый раз в результате изменения энерготехнологии, т. е. перехода на новую ступень получения и использования энергии. В процессе практического развития энергетики можно выделить четыре основных периода. Различные периоды в развитии энергетики определяются господствующими источниками энергии и зависящей от них энерготехникой (рис. 1.1) [1].

*Первый период. Эпоха мускульной энергетики.* От начала зарождения человека до конца V–VII вв. Источником энергии служила химическая энергия пищи, превращающаяся в мускульную силу человека, а позже и прирученных животных. Тепло солнца, а затем и огня использовалось для обогрева и бытовых нужд – приготовления пищи, выплавки металлов и т. п. В этой эпохе следует выделить период, когда мускульная сила приумножалась с помощью простых механизмов – рычага, ворота и т. п., а также период, когда огонь стали получать искусственно – трением. Последнее достижение следует считать принципиально важным в истории развития человечества. Кроме того, в течение этой эпохи так называемые невозобновляемые энергоресурсы накапливались. Так продолжалось примерно до VIII–X вв.

*Второй период – с VIII до XVIII в. Эпоха механоэнергетики.* Длилась она до XVIII в. В этот период человек стал дополнительно использовать механическую энергию возобновляющих энергоресурсов – энергию речной воды и ветра. Для этих целей использовались водяные колеса и ветряные крылья. Человек получил в свое распоряжение силы, во много раз превосходящие его собственные и силы домашних животных. Развитие техники получения огня, использование печного отопления позволили человеку заселять холодные климатические районы Земли. Энергетические ресурсы в эту эпоху полностью

восстанавливались, а окружающая среда оставалась практически в первозданном виде.

*Третий период* – примерно с XVIII в. до 1940-х гг., когда основным источником энергии для выполнения работ становится невозобновляемая химическая энергия минерального органического топлива: каменного угля, нефти, природного газа и т. п. Главный источник энергии во многих странах – это химическая энергия, выделяющаяся при сгорании органических ископаемых: каменного угля, нефти и т. д. А основная движущая сила – энергия пара или газов, возникающая в тепловых двигателях. Принципиальное отличие этой эпохи – человечество уничтожает ресурсы, доставшиеся ему как результат процессов, протекавших на Земле миллионы лет и имевших своим первоисточником энергию Солнца. Все это сопровождается загрязнением окружающей среды продуктами сгорания и отходами производства.

*Четвертый, современный период*, начавшийся в 40-е гг. прошлого века, характеризуется овладением и все более широким использованием ядерной энергии, истощением химических энергоресурсов, загрязнением окружающей среды, поиском альтернативных источников энергии и разработкой энергосберегающих технологий. Возникает проблема создания экологически чистых производств. Появляется ядерная энергетика, опять же на невозобновляемых энергоресурсах. Но «синдром» Чернобыля, возникший после крупной аварии на одной из АЭС Украины 26 апреля 1986 г., резко замедлил темпы развития этого вида энергетики.

Загрязнение, в том числе и радиационное, окружающей среды начинает тормозить развитие традиционных энергетических технологий. Остро встает вопрос создания альтернативной энергетики на возобновляющихся энергоресурсах и одновременном переходе к эпохе сбалансированной энергетики на возобновляющихся энергоресурсах. Если такое состоится, человечество сумеет жить в состоянии динамического равновесия, потребляя столько энергии, сколько можно получить при использовании возобновляющихся энергоресурсов (солнечного излучения, движения воды, ветра и т. п.), возможно и энергии термоядерных топлив. В соответствии с вырабатываемой энергией и производимым с ее помощью продовольствием население Земли будет обеспечиваться бытовой, производственной, культурной и другой техникой. Окружающая среда также должна быть приведена в состояние динамического равновесия, т. е. должна полностью восстанавливаться, это и есть эпоха сбалансированной энергетики. Но пока

это в значительной мере больше фантастика, чем объективная реальность. Основные выводы XV конгресса Мирового энергетического совета, состоявшегося в 1992 г., включают следующее:

- органические топлива останутся основой энергообеспечения; их абсолютное потребление возрастет при любых реалистичных сценариях. Не просматривается ни одного нового источника энергии, по крайней мере, на ближайшие 30 лет;

- в этих условиях первоочередной задачей мирового сообщества является повышение эффективности использования природных энергетических ресурсов, без чего невозможно будет в перспективе решать глобальные проблемы обеспечения устойчивого энергоснабжения и охраны окружающей среды.

Иными словами, в обозримом будущем на состояние динамического равновесия между промышленным производством и окружающей средой можно надеяться только через энергосбережение, рациональное использование энергоресурсов.

К настоящему времени сложилась определенная теория технологических укладов в мировой экономике [2, 3].

*Технологический уклад* можно определить как соответствующую экономическую эпоху, обусловленную уровнем развития энергетики, который позволяет реализовать возможности сформированных на этот период ресурсных, технико-технологических, информационных, транспортных и организационно финансовых систем.

В соответствии с наиболее распространенной концепцией [2] отсчет времени при анализе процессов технологической динамики принято начинать с периодов первой промышленной революции в Англии, когда, по мнению авторов, устанавливается современный темп технико-технологического развития.

Дадим самую краткую характеристику этих укладов.

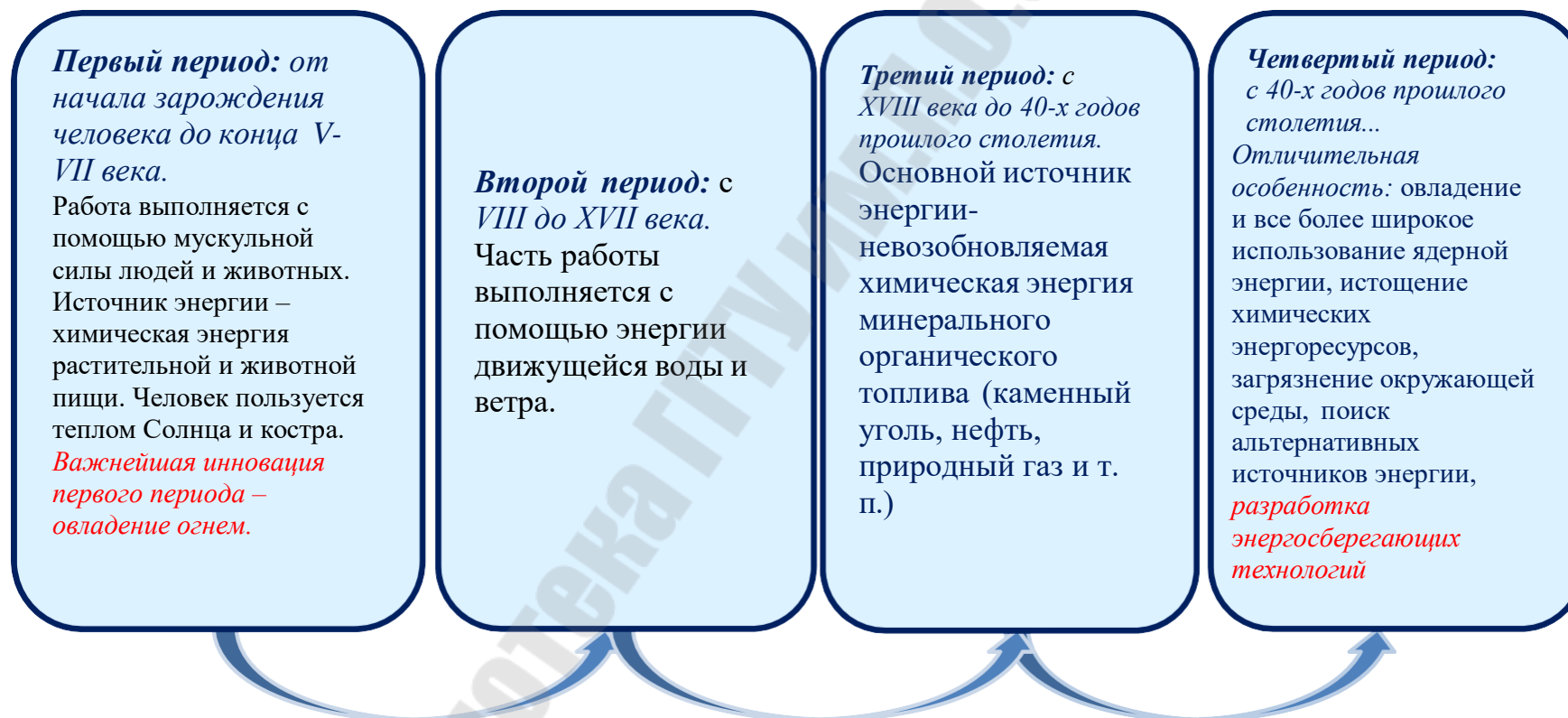


Рис. 1.1. Основные периоды практического развития энергетики



**Первый.** Период существования – 1770–1830 гг. Основа – текстильная промышленность, текстильное машиностроение, выплавка чугуна, обработка железа, строительство каналов. Энергетическая база – водяной двигатель (колесо).

**Второй.** Период существования – 1830–1880 гг. Основа – железнодорожное строительство и транспорт, машино- и паростроение, угольная, станкоинструментальная промышленность, черная металлургия. Энергетическая база – паровой двигатель.

**Третий.** Период существования – 1880–1930 гг. Основа – электротехника, тяжелое машиностроение, производство и прокат стали, линии электропередач, неорганическая химия. Энергетическая база – электрический двигатель, развитие электросвязи.

**Четвертый.** Период существования – 1930–1980 гг. Основа – автомобиле-, тракторостроение, цветная металлургия, производство товаров длительного пользования, синтетические материалы, органическая химия, производство и переработка нефти. Энергетическая база – электроэнергетика на основе паровых и газотурбинных, ядерных установок; двигатели внутреннего сгорания, ракетная техника.

**Пятый (современный).** Период существования – с 1980 г. по настоящее время. Основа – электронная промышленность, вычислительная оптико-волоконная техника, программное обеспечение, телекоммуникации, роботостроение, добыча и переработка газа, информационные услуги. Считаем, что следует добавить – постоянный рост использования бытовой, офисной энергоемкой техники. Энергетическая база практически сохраняется прежней, но с некоторыми отступлениями и неопределенностями – частичный отказ от атомной энергетики, снижение разведанных запасов невозобновляемых энергоресурсов (нефть, газ), трудности в освоении возобновляемых источников энергии.

Если исходить из ранее приведенного определения технологического уклада, то независимо от того, какой он в настоящее время по счету, пятый или восьмой (есть и такие раскладки), развитие его и тем более смена вряд ли возможны в целом в масштабах мировой экономики ввиду возникновения явных энергетических ограничений.

Создается ситуация, когда авторам экономических теорий удастся сохранить их стройность, если системообразующие факторы сместить в пользу информационных, организационно-финансовых систем. Такое возможно только при осознанном разделении мирового сообщества по степени доступности к благам цивилизации. Доказа-

тельством возможности именно такой схемы развития при игнорировании сложившихся проблем в энергетической обеспеченности современного технологического уклада является наличие тесной связи между валовым внутренним продуктом (ВВП) и расходом энергии на его производство. А именно ВВП является основой для роста благосостояния любого сообщества, т. е. надежные источники энергии, доступность к ним всех слоев населения являются «головной болью» любого государства и сообщества.

И обратной связью в этом системном процессе может быть только рациональное использование энергии на основе энергоэффективных технологий.

## 1.2. Энергия и ее виды

В историческом плане, примерно начиная с 1807 г., понятие «энергия» стало постепенно выделяться из многозначного понятия «сила». Особенно активно это понятие стало звучать в тот период, когда «движущая сила огня» начала использоваться в паровых машинах, где тепло от сжигаемого угля превращалось в механическую работу поршня, который перемещался под давлением пара. Несколько ранее интенсивность движения тел оценивали «живой силой» – произведением массы тела  $m$  на квадрат скорости  $v$  его движения  $mv^2$ . В 1829 г. француз Г. Кориолис уточняет выражение живой силы, поделив его пополам, –  $mv^2/2$ .

Несколько позднее энергию движущей силы стали называть кинетической, а энергию системы, приведенной в «напряженное» состояние, – камень поднят над землей и т. п. – потенциальной. К середине XIX в. получил обоснование закон сохранения количества энергии при взаимопревращении ее видов в изолированных системах – первый закон природы, который точнее можно определить так: нельзя получить что-либо, не оплачивая это. В этот же период в полной мере осознается выдающаяся роль энергии в жизни и развитии человеческого общества, за что присваивают ей романтический титул «царицы мира». Естественно, в этот период появились и научные определения энергии. Приведем здесь только одно из многочисленных определений, которое принадлежит Ф. Энгельсу: **«Энергия – это общая скалярная мера различных форм движения материи»**. Заметив, что все виды энергии превращаются в тепло, которое, переходя к более холодным телам, в конечном итоге рассеивается в окружающей среде,

излучаясь затем в мировое пространство, ученые в результате обнаружили «тень» энергии – энтропию – меру рассеяния энергии. По мере изучения этого явления Р. Клаузиусом и другими был сформулирован *новый закон – закон снижения качества энергии (возрастания энтропии), ставший позже вторым законом термодинамики: какие бы изменения ни происходили в реальных изолированных системах, они всегда ведут к увеличению энтропии (невозможно помешать выравниванию энергии).*

Развитие учения об энергии и ее превращениях неоднократно сопровождалось попытками создания теорий и принципов работы оборудования, выходящих за рамки упомянутых выше первого и второго начал термодинамики. Наиболее интересные из них следующие. Разработка вечного двигателя (перпетуум-мобиле). Различались два вида двигателей. Вечный двигатель первого рода можно определить как воображаемую, непрерывно действующую машину, которая, будучи как-то запущенной, совершила работу без получения энергии извне. Потребовалось длительное время, чтобы человечество убедилось в неосуществимости реализации такой машины, так как ее принцип работы противоречит закону сохранения и превращения энергии. Вечный двигатель второго рода – воображаемая тепловая машина, которая в результате совершения кругового процесса (цикла) полностью преобразует теплоту, получаемую от какого-то «неисчерпаемого» источника (океана, атмосферы и т. п.), в работу. Данный принцип также не может быть реализован, так как противоречит уже второму началу термодинамики.

Но, пожалуй, наиболее впечатляющей была теория все того же Р. Клаузиуса – теория «тепловой смерти Вселенной». Он попытался распространить положения второго начала термодинамики на всю Вселенную. Согласно этим утверждениям, через какой-то достаточно длительный промежуток времени вся энергия, имеющаяся на Земле и в других частях Вселенной, превратится в теплоту, а равномерное распределение последней между всеми телами Земли и Вселенной приведет к выравниванию каких бы то ни было превращений энергии. Данная «теория» была опровергнута рядом исследователей, в т. ч. Л. Больцманом в 1872 г. Он на основе молекулярно-кинетической теории продемонстрировал, что закон возрастания энтропии неприменим к Вселенной, потому что он справедлив только для статистических систем, состоящих из большого числа хаотически движущихся объектов, поведение которых, определяемое изменением параметров

состояния (например, для газов – давление, температура, удельный объем), подчиняется законам теории вероятностей. Возрастание энтропии таких систем указывает лишь наиболее вероятное направление протекания процессов.

В период опровержения теории тепловой смерти Вселенной немецкий физико-химик В. Нернст предположил, что *с приближением абсолютной температуры к нулю энтропия тоже стремится к нулю*, что впоследствии стало третьим законом термодинамики. Основываясь на этом законе, за нулевую точку отчета энтропии любой системы можно принимать ее максимальное упорядоченное состояние.

Эти три закона и молекулярно-кинетическая теория составляют основу термодинамики, которая в настоящее время рассматривается как самая универсальная и строго логическая научная дисциплина.

**Виды энергии.** В настоящее время имеется научно обоснованная классификация видов энергии. Их много – около 20. Вряд ли есть необходимость их все здесь перечислять и определять.

Приведем только те виды энергии, которые к настоящему времени наиболее часто используются как в повседневной жизни, так и в научных исследованиях.

1. Ядерная энергия – энергия связи нейтронов и протонов в ядре, освобождающаяся в различных видах при делении тяжелых и синтезе легких ядер; в последнем случае ее называют термоядерной.

2. Химическая (логичнее – атомная) энергия – энергия системы из двух или более реагирующих между собой веществ. Эта энергия высвобождается в результате перестройки электронных оболочек атомов и молекул при химических реакциях. Когда мы говорим – АЭС (атомная электростанция), это вряд ли правильно. Точнее было бы ЯЭС (ядерная электростанция).

3. Электростатическая энергия – потенциальная энергия взаимодействия электрических зарядов, т. е. запас энергии электрически заряженного тела, накапливаемый в процессе преодоления им сил электрического поля.

4. Магнитостатическая энергия – потенциальная энергия взаимодействия «магнитных зарядов», или запас энергии, накапливаемый телом, способным преодолеть силы магнитного поля в процессе перемещения против направления действия этих сил. Источником магнитного поля может быть постоянный магнит, электрический ток.

5. Упругостная энергия – потенциальная энергия механически упруго измененного тела (сжатая пружина, газ), освобождающаяся при снятии нагрузки чаще всего в виде механической энергии.

6. Тепловая энергия – часть энергии теплового движения частиц тел, которая освобождается при наличии разности температур между данным телом и телами окружающей среды.

7. Механическая энергия – кинетическая энергия свободно движущихся тел и отдельных частиц.

8. Электрическая (электродинамическая) энергия – энергия электрического тока во всех его формах.

9. Электромагнитная (фотонная) энергия – энергия движения фотонов электромагнитного поля.

Часто в особый вид энергии выделяют биологическую. Биологические процессы – это особая группа физико-химических процессов, в которых участвуют те же виды энергии, что и в других.

Есть еще психическая энергия. Действительно, ни один акт человеческой деятельности не может произойти без мотивационного, а значит, и «психоэнергетического» обеспечения, источником которого служит физико-химическая энергия организма. Но это предмет отдельного разговора.

Из всех известных видов энергии, а также и перечисленных выше в практике непосредственно используются всего четыре вида (рис. 1.2): тепловая, (около 70–75 %), механическая (около 20–22 %), электрическая – около 3–5 %, электромагнитная – световая (менее 1 %). Причем широко вырабатываемая, подводимая по проводам в дома, к станкам электрическая энергия выполняет в основном роль переносчика энергии.

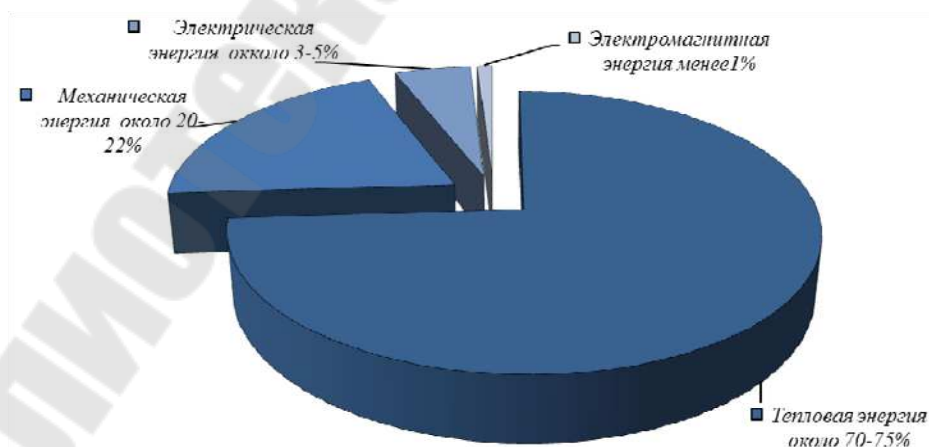


Рис. 1.2. Доли используемой человеком энергии

Главным источником непосредственно используемых видов энергии служит пока химическая энергия минеральных органических горючих (уголь, нефть, природный газ и др.), запасы которой, составляющие доли процента всех запасов энергии на Земле, вряд ли могут быть бесконечными (т. е. возобновляемыми).

В декабре 1942 г. был введен в работу первый ядерный реактор и появилось ядерное топливо. В настоящее время в ряде стран все шире используются возобновляемые источники энергии (ветро-, гидроэнергетика и др.).

Практически в любом технологическом процессе используется несколько видов энергии. Топливо-энергетические балансы при этом составляются обычно по видам используемых топлив, видам энергии для каждого технологического цикла (передела) отдельно. Это не позволяет провести объективное сравнение различных технологических процессов для производства одного и того же вида продукции.

Для сквозных расчетов энергоемкости какого-либо технологического продукта было предложено все виды энергии классифицировать по трем группам:

1. Первичная энергия  $\mathcal{E}1$  – химическая энергия ископаемого первичного топлива, с учетом энергетических затрат на добычу, подготовку (обогащение), транспортировку и т. д.

2. Производная энергия  $\mathcal{E}2$  – энергия преобразованных энергоносителей, например: пар, горячая вода, электроэнергия, сжатый воздух, кислород, вода и др., с учетом затрат на их преобразование.

3. Скрытая энергия  $\mathcal{E}3$  – энергия, израсходованная в предшествующих технологиях и овеществленная в сырьевых исходных материалах процесса, технологическом, энергетическом и т. п. оборудовании, капитальных сооружениях, инструменте и т. д.; к этой же форме энергии относятся энергозатраты по поддержанию оборудования в работоспособном состоянии (ремонт), энергозатраты внутри- и межзаводских перевозок и других вспомогательных операций [5].

Для многих массовых видов продукции величина энергетических затрат в виде скрытой энергии, т. е. вносимой оборудованием и капитальными сооружениями, является относительно незначительной по сравнению с другими двумя видами энергии, и поэтому в первом приближении может включаться в расчет по примерной оценке.

Суммарные энергозатраты на производство единицы какой-либо продукции в этом случае можно записать в виде

$$\mathcal{E}_{\text{сум}} = \mathcal{E}1 + \mathcal{E}2 + \mathcal{E}3 - \mathcal{E}4, \quad (1.1)$$

где Э4 – энергия вторичных энергоресурсов, которая вырабатывается в процессе производства данной продукции, но передается для использования в другой технологический процесс.

**Эволюция человечества напрямую связана с ростом его энергетического** потенциала и с увеличением удельной энерговооруженности каждого члена общества. Именно удельная энерговооруженность служит главным критерием прогресса.

С начала XX в. планы развития государства напрямую связывались с развитием энергетики. Так, идея разработки плана ГОЭЛРО, его концепция, программа и конкретные характеристики зарождались на рубеже XIX–XX вв. В этот период руководители государства, технические и хозяйственные специалисты все больше убеждались в том, что стране нужна единая общегосударственная программа, которая увязала бы развитие промышленности в регионах с развитием энергетической базы, а также с электрификацией транспорта и жилищно-коммунального хозяйства. Поэтому при решении возникшей после октября 1917 г. проблемы восстановления и развития хозяйства страны по единому государственному плану электрификация была поставлена во главу угла как осознанная объективная потребность. По сути дела, план ГОЭЛРО, принятый к исполнению в декабре 1920 г., стал первым государственным планом и положил начало всей последующей системе планирования в СССР.

Так называемая программа «А» плана ГОЭЛРО, предусматривавшая восстановление разрушенного во время Первой мировой и Гражданской войн энергетического хозяйства страны, оказалась выполненной уже в 1926 г. А к 1931 г., первому десятилетнему сроку программы, были перевыполнены все плановые показатели по энергетическому строительству. Вместо запроектированных 1750 кВт новых мощностей было введено в эксплуатацию 2560 кВт, а производство электроэнергии только за один последний год увеличилось почти вдвое. К концу же пятнадцатилетнего срока – к 1935 г. – советская энергетика вышла на уровень мировых стандартов и заняла третье (после США и Германии) место в мире. План ГОЭЛРО сыграл в жизни нашей страны огромную роль: без него вряд ли удалось бы вывести СССР в столь короткие сроки в число одной из самых развитых в промышленном отношении стран мира.

Так, в настоящее время, когда Российская Федерация – (РФ) вступает во второе десятилетие XXI в., актуальность развития ее энергетики имеет ничуть не меньшее значение, чем это было в начале XX в.

Принятые Правительством РФ документы о развитии энергетики России [1–4] предусматривают реализацию стратегических задач, не имеющих аналогов в других отраслях по масштабам и значению. Цель энергетической политики России – максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г., утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р [10], формирует новые ориентиры развития энергетического сектора в рамках перехода российской экономики на инновационный путь развития, предусмотренный Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.

Проблемы и перспективы развития отечественной энергетики сегодня, в условиях глобализации, не могут рассматриваться в отрыве от мировых энергетических, экономических и экологических проблем, которые, в свою очередь, определяют мировую политику. Энергетическая стратегия России формируется на фоне неуклонного возрастания взаимозависимости государств через общность глобальной инфраструктуры и единого правового пространства. 14-й Петербургский международный экономический форум, состоявшийся 17–19 июня 2010 г., проходил под знаком крупных проектов в области энергетики.

В настоящее время основными источниками энергии служат углеводороды и урановые руды. Их мировые запасы примерно известны. Зная достигнутый и прогнозируемый уровень потребления этих ресурсов, можно подсчитать срок, когда они будут полностью исчерпаны. Разрабатываемые и широко пропагандируемые в настоящее время режимы экономии невозобновляемых источников энергии могут отодвинуть этот срок, но они не в состоянии исключить тот момент в будущем, когда эти источники будут полностью исчерпаны.

Ситуация неизбежного исчерпания в будущем энергоресурсов усугубляется экспоненциальным ростом промышленного производства. Так, по оценкам ряда ученых, в XX в. средний прирост мировой промышленности составлял 2-кратное увеличение каждые 20 лет. При сохранении этой тенденции и существующей сегодня энергоемкости продукции к концу XXI в. потребность в энергоресурсах может вырасти более чем в 30 раз по сравнению с нынешним их потреблением.



На глобальные проблемы нарастающего дефицита энергоресурсов накладывается мировая проблема загрязнения окружающей среды. Многочисленными международными комиссиями отмечается, что глобальное потепление, вызванное преимущественно выбросами  $\text{CO}_2$ , образующимися в основном при сжигании традиционных видов топлива, становится в ближайшем будущем главной проблемой для человечества, более актуальной, чем безработица и терроризм. Возможные отрицательные последствия изменения климата жители России смогли ощутить на себе аномально жарким летом 2010 г. А масштабы отрицательного влияния изменений климата на все стороны жизнедеятельности человеческого общества могут быть куда более серьезными и катастрофичными.

Дефицит углеводородного сырья, ухудшение условий его добычи и транспортировки, экологические и климатические проблемы обостряют конкурентную борьбу в сфере инноваций и технологий, между государствами и группами государств. Усилия ученых, конструкторов, проектировщиков, технологов и других специалистов, связанных с производством и потреблением энергетических ресурсов и энергии, направлены на решение проблем энергетического обеспечения дальнейшего развития человеческой цивилизации.

Следует отметить, что по наукоемкости энергетический сектор традиционно считается уступающим таким высокотехнологичным секторам, как информация и связь, фармацевтика, авиация и космос. В значительной степени это объясняется малой изменчивостью конечного продукта, определенной прогнозируемостью спроса. Поэтому инновации в энергетическом секторе связаны, прежде всего, с изменением технологических процессов, а не конечной продукции, что обеспечивает более быстрое освоение и высокую эффективность инновационной деятельности в энергетике, чем в ряде наукоемких отраслей.

### **1.3. Энергетические законы, закономерности, правила**

**Первое начало термодинамики**, одно из основных положений термодинамики, является по существу законом сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам [7, 8]:

$$Q = U + A, \quad (1.2)$$

где  $Q$  – сообщаемое термодинамической системе (например, пару в тепловой машине) количество теплоты;  $A$  – совершаемая ею работа;  $U$  – изменение ее внутренней энергии.

Приведем некоторые формулировки закона:

– при любых физических и химических взаимодействиях, при любом перемещении вещества из одного места в другое, при любом изменении температуры энергия не возникает и не исчезает, а только превращается из одного вида в другой;

– энергия, получаемая или затраченная какой-либо живой или неживой системой, должна быть равна той энергии, которую одновременно получила от системы или отдала ей окружающая ее среда.

*Укажем некоторые следствия:*

– в результате превращений энергии никогда нельзя получить ее больше, чем затрачено: выход энергии всегда равен ее затратам;

– нельзя из ничего получить нечто, за все нужно платить.

**Второе начало термодинамики – закон возрастания энтропии:** *в замкнутой, т. е. изолированной в тепловом и механическом отношении системе, энтропия либо остается неизменной (если в системе протекают обратимые, равновесные процессы), либо возрастает (в неравновесных процессах) и в состоянии равновесия достигает максимума.*

Представим другие эквивалентные формулировки:

**1. Невозможен процесс, единственным результатом которого является превращение тепла, полученного от нагревателя, в эквивалентную ему работу.** Например, при равновесном изотермическом процессе расширения ртутного газа совершается работа, которая полностью эквивалентна теплу, переданному рабочему телу нагревателем. Однако плотность рабочего тела при этом изменяется, т. е. «превращение тепла в работу» не является единственным результатом рассматриваемого процесса. Аналогичную картину можно наблюдать в работе теплового двигателя, работающего по прямому циклу Карно. Работа, совершаемая в нем, эквивалентна лишь части полученного тепла от нагревателя, так как остальная часть тепла отдается холодильнику, состояние которого вследствие этого изменяется.

**2. Невозможен процесс, единственным результатом которого является передача энергии в форме тепла от холодного к горячему.**

**3. Невозможен переход теплоты от тела более холодного, к более нагретому телу без каких-либо других изменений в системе или окружающей среде.**

Некоторые могут возразить и привести в пример холодильную машину, так как в холодильной машине тепло передается от холодного тела к горячему. Однако для совершения этого процесса необхо-

дим компенсирующий процесс совершения работы внешними силами, а именно – затрата электрической энергии на привод компрессора. Аналогичный процесс наблюдается и в тепловом насосе.

**В замкнутой, т. е. изолированной в тепловом и механическом отношении системе, энтропия либо остается неизменной (если в системе протекают обратимые, равновесные процессы), либо возрастает (в неравновесных процессах) и в состоянии равновесия достигает максимума.**

Закон возрастания энтропии называют также законом снижения качества энергии, согласно которому мы не можем восстановить или повторить использование высококачественной энергии для выполнения полезной работы. Однако часть высококачественной энергии в виде низкопотенциальной энергии рассеивается в окружающую среду, обеспечивая рост энтропии. Именно энергосберегающие технологии должны способствовать утилизации этой низкопотенциальной энергии, тем самым повысить эффективность использования энергии и уменьшить воздействие производственной деятельности человека на окружающую среду.

*Классическая формулировка второго закона термодинамики* заключается в том, что для всех **обратимых изменений в закрытой системе с однородной температурой  $T$**  справедливо соотношение

$$dS = \frac{dQ}{T} - \text{обратимые изменения.} \quad (1.3)$$

где  $S$  – функция состояния, в дальнейшем получившая название энтропия состояния. Она же одновременно определяет абсолютную температуру.

Для всех необратимых изменений в закрытой системе

$$dS > \frac{dQ}{T} - \text{необратимые изменения.} \quad (1.4)$$

Энтропия системы может изменяться вследствие двух и только двух причин: либо переноса (транспорта) энтропии из внешней среды или во внешнюю среду через границы системы, либо в результате возникновения энтропии в самой системе.

Обозначив эти два слагаемых через  $d_e S$  и  $d_i S$ , получим:

$$dS = d_e S + d_i S. \quad (1.5)$$

Исходя из уравнения (1.5) и уравнений (1.4) и (1.3) можно сделать вывод, что возникающая в системе энтропия равна некомпенсированной теплоте Клаузиуса, деленной на абсолютную температуру.

Для того чтобы при реализации принципов энергосбережения оценивать их энергетическую эффективность, были предложены многочисленные методы и показатели, например, понятие «эксергии». Рассмотрим одно из известных толкований этого понятия.

С появлением тепловых двигателей многие специалисты обратили внимание на невозможность использования всей подведенной к рабочему телу энергии. Большая часть ее выбрасывается в окружающую среду. Заметив это, Р. Клаузиус (в 1865 г.), Д. Гиббс (в 1875 г.) сформулировали понятие свободной энергии системы, которое стало широко известным из статьи Г. Гельмгольца (1882 г.) и получило название термодинамического потенциала Гельмгольца.

Согласно формулировке Р. Клаузиуса и Д. Гиббса, **свободная энергия системы ( $F$ ) – это часть её внутренней энергии ( $U$ ), которая может быть превращена в любую немеханическую работу ( $W^*$ ) при постоянном объеме системы и постоянной температуре ( $T$ ) системы, равной температуре окружающей среды.** Из приведенного определения следует  $F = U - TS$ .

Такие процессы происходят, например, в гальванических элементах, где химическая энергия превращается в электрическую работу, при этом механическая работа не совершается.

Из законов термодинамики известно, что внутренняя энергия системы состоит из двух частей  $U = F + TS$ , одну из которых  $F = U - TS$  можно превратить в работу, за что ее и называют свободной, а другую  $TS$  – нет, за что ее называют связанной.

Третье начало термодинамики (Нернста теорема) устанавливает, что энтропия физической системы при стремлении температуры к абсолютному нулю не зависит от параметров системы и остается неизменной. М. Планк дополнил теорему Нернста гипотезой, что энтропия всех тел при абсолютном нуле температуры равна нулю. Из третьего начала термодинамики вытекают важные следствия о свойствах веществ вблизи абсолютного нуля. Так, обращаются в нуль удельные теплоемкости при постоянном объеме ( $C_v$ ) и при постоянном давлении ( $C_p$ ), термический коэффициент расширения и давления. Отсюда также следует недостижимость абсолютного нуля температуры при конечной последовательности термодинамических процессов.

**Закон внутреннего динамического развития** – один из фундаментальных экологических законов: всякая природная система обладает внутренней энергией, веществом, информацией и динамическими качествами, связанными настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает в другом или том же, но в другое время, изменения, сохраняющие всю сумму перечисленных показателей. Следствие этого закона: 1) любое изменение среды неизбежно приводит к развитию природных цепных реакций, идущих в сторону нейтрализации произведенного изменения или формирования новых природных систем; 2) взаимодействие энергетических, вещественных и информационных компонентов экосистемы нелинейно, т. е. слабое воздействие или изменение одного из показателей может вызвать сильные отклонения других и всей системы в целом; 3) производимые в крупных экосистемах изменения относительно необратимы (см. закон необратимости эволюции); 4) любое местное преобразование природы вызывает в глобальной совокупности биосферы ответные реакции, приводящие к относительной неизменности экологоэкономического потенциала, увеличение которого возможно лишь путем значительного возрастания энергетических вложений («правило Тришкина кафтана») – см. закон снижения энергетической эффективности природопользования.

**Закон Гюй–Стодолы:** потеря эксергии из-за необратимости процессов равна произведению температуры окружающей среды на сумму приращенной энтропии всех тел, участвующих в исследуемых процессах:

$$T \sum \Delta S_{Hi}. \quad (1.6)$$

**Закон максимизации энергии** (от лат. *максимум* – наибольшее): в соперничестве с другими системами выживает (сохраняется) та из них, которая наилучшим образом способствует поступлению энергии и использует максимальное ее количество наиболее эффективным образом. С этой целью система осуществляет следующее:

- 1) создает накопители (хранилища) высококачественной энергии;
- 2) затрачивает часть накопленной энергии на обеспечение поступления новой энергии;
- 3) обеспечивает кругооборот различных веществ;
- 4) создает механизмы регулирования, поддерживающие устойчивость системы и ее способность приспособления к изменяющимся условиям;

5) налаживает с другими системами обмен, необходимый для обеспечения потребности в энергии специальных видов.

**Закон максимума биогенной энергии (В. И. Вернадского – Э. С. Бауэра):** любая биологическая или другая система с участием живого, находясь в состоянии динамического равновесия с окружающей ее средой и эволюционно развиваясь, увеличивает свое воздействие на среду.

**Закон минимума рассеивания энергии (или принцип направленности эволюции):** при возможности развития процесса в нескольких направлениях реализуется то, которое обеспечивает минимум рассеивания энергии (минимум роста энтропии). Таким образом, эволюция всегда направлена на снижение рассеивания энергии, на ее неравномерное распределение, так как полная энтропия – абсолютно равномерное распределение энергии.

**Закон необходимого разнообразия:** любая система не может сформироваться из абсолютно одинаковых элементов.

**Закон неограниченности прогресса** (от лат. *прогресс* – движение от низшего к высшему) применительно к биологии: живое постоянно, непрерывно и необходимо стремится к относительной независимости от условий среды. Этот же закон справедлив и в отношении к человеческому обществу.

**Закон неравномерности развития биологических (и не только) систем:** системы одного уровня (иерархии) обычно развиваются не строго синхронно (одновременно, одинаково по времени): в то время как одни достигли более высокого уровня развития, другие остаются в менее развитом состоянии.

**Закон ограниченности природных ресурсов:** все природные ресурсы и условия Земли конечны. В этом смысле понятие «неисчерпаемых природных ресурсов» вызывает большое сомнение; даже, казалось бы, неисчерпаемая солнечная энергия не может быть «переварена» биосферой в неограниченных количествах без катастрофических для себя последствий.

**Закон однонаправленности потока энергии:** энергия, получаемая сообществом (экосистемой) и усваиваемая продуцентами, рассеивается или вместе с их биомассой необратимо передается консументам первого, второго и т. д. порядков, а затем редуцентам с падением потока на каждом из трофических уровней в результате процессов, сопровождающих дыхание. Поскольку в обратный поток поступает не более 0,25 % изначально вовлеченной энергии, говорить о «круговороте энергии» нельзя.

**Закон оптимальности** (от лат. *оптимус* – «наилучший»): никакая система не может сужаться и расширяться до бесконечности, т. е. размер любой системы должен соответствовать ее функциям. Никакой целостный организм не в состоянии превысить критические размеры, обеспечивающие поддержание его энергетики.

**Закон пирамиды энергий Р. Линдемана (закон десяти процентов):** при переходе с одного трофического (от гр. *трофи* – «пища») уровня экологической пирамиды на другой потребляется в среднем 10 % энергии биомассы (или вещества в энергетическом выражении).

**Закон предельного развития материальных систем:** материальные системы (природные, технические и др.) при прогрессивном развитии, т. е. при совершенствовании, достигают характерного для каждой совокупности внешних и внутренних условий предела, который можно выразить максимальным (достижимым) значением КПД, удельной мощности и др.

**Закон преимущественного развития, или закон конкуренции:** в каждом классе материальных систем преимущественное развитие получают те, которые при данной совокупности внутренних и внешних условий достигают максимального значения энергетической эффективности (КПД, удельной производительности, долговечности, надежности и т. д.).

**Закон выживания:** все элементы (объекты) самоорганизующейся природы, особенно живые, в своем развитии (индивидуальном, эволюционном) самопроизвольно устремлены к состоянию, обеспечивающему наиболее полное использование доступной свободной (работоспособной, превратимой) энергии в существующих условиях системы трофического уровня, в которую они входят. Этот закон обусловил важнейшее свойство самоорганизующейся природы: все ее объекты, включая организм человека, энергоэкономны. Однако в сознательной деятельности человек допустил энергорасточительство. Это и обусловило глобальные проблемы – энергетическую, продовольственную, экологическую и др. [68].

Реальность существования закона выживания обнаружена при изучении самых различных уровней организации живой природы – от макромолекулярного и клеточного до экосистемного и социально-культурного. Все этапы эволюции природы (физико-химический, биологический, социальный) направляются этим законом. Первоначально он формулировался применительно только к живой природе.

Потом выяснилось, что закон проявляется и в физико-химических самоорганизующихся структурах и процессах. Он может выполнить роль логической концептуальной основы для объединения всех отраслей естественных знаний в единую систему – всеединство знаний.

Невозможно переоценить значение этого закона для решения самых различных проблем, особенно глобальных, которые в последнее время объединены в проблему управляемого устойчивого развития человеческого общества и остальной природы. Однако этот закон пока мало кому известен и понятен.

**Закон развития науки:** наука движется вперед пропорционально массе знаний, унаследованных ею от предшествующего поколения (Ф. Энгельс).

**Закон развития природной системы за счет окружающей ее среды:** любая природная система может развиваться только за счет использования материальных, энергетических и информационных возможностей окружающей ее среды. Этот закон вытекает из начал термодинамики.

*Из этого закона следует:* 1) абсолютно безотходное производство невозможно, оно равнозначно созданию «вечного двигателя»; 2) любая более организованная биотическая система (например, вид живого), используя и видоизменяя среду жизни, представляет собой потенциальную угрозу для более низкоорганизованных систем. Благодаря этому, например, в земной биосфере невозможно повторное зарождение жизни – она будет уничтожена существующими организмами; 3) биосфера Земли как система развивается не только за счет ресурсов планеты, но опосредованно за счет и под управлением космических систем (прежде всего, Солнечной).

**Закон снижения энергетической эффективности природопользования:** с течением времени при получении полезной продукции из природных систем на ее единицу затрачивается все большее количество энергии. Например, в течение XX в. количество энергии, затрачиваемое на производство единицы сельхозпродукции, возросло в 8–10 раз, промышленной продукции – в 10–12 раз с одновременным уменьшением доли более экологически чистой мускульной энергии.

Следствия из данного закона: 1) энерговооруженность жизни в ходе эволюции должна возрасть; 2) рост благосостояния человеческой жизни должен сопровождаться количественным увеличением энергетического бюджета каждого человека.

**Закон энергетической неэффективности большого государства:** потребность в энергии возрастает в странах, которые обладают



обширными территориями. Существует утверждение, что «критическая» площадь государства около 500 тыс. км<sup>2</sup>.

Одно из подтверждений реальности такой закономерности – удельные расходы топлива и энергии в Японии (4,5 т у. т./чел. год) и США (11,0 т у. т./чел. год), хотя среднегодовая температура воздуха в этих странах одинакова и составляет +11,2 °С.

**Закон уменьшения энтропии открытых систем при прогрессивном развитии:** энтропия открытых систем в процессе их прогрессивного развития всегда уменьшается за счет потребления энергии от внешних источников.

**Закон экологии Барри Коммонера:** все, что было извлечено из природы (экосистемы) человеческим трудом, должно быть возмещено.

**Закономерность растущего плодородия, урожайности:** агротехнические и другие прогрессивные приемы ведения сельского хозяйства ведут к увеличению урожайности полей, при этом само плодородие как свойство почв не увеличивается, а *высокие урожаи обеспечиваются огромными энергетическими вложениями* (см. закон снижения энергетической эффективности природопользования).

**Закономерность сохранения живой природы:** для сохранения своего стационарно неустойчивого состояния живая природа непрерывно потребляет энергию. Переход подобной системы в новое стационарное состояние связан с уменьшением потребления энергии из-за ослабления движущей силы.

**Закономерность увеличения оборота вовлекаемых природных ресурсов:** в процессе исторического развития мирового хозяйства быстрота оборачиваемости вовлеченных природных ресурсов (как первичных, так и вторичных) непрерывно возрастает, при этом требуется все больше энергии.

**Правило интегрального ресурса (от лат. *интегер* – «цельный», «единый»):** конкурирующие в сфере использования определенных природных систем отрасли хозяйства неминуемо наносят ущерб друг другу.

**Правило одного процента:** изменение энергетики природной системы в пределах одного процента выводит природную систему из равновесного состояния.

**«Золотое» правило энергетики:** *чем больше количество ступеней в процессе преобразования энергии, тем ниже практический КПД* *ее* *производства.*

Ряд следствий из этого правила:

- концентрированное производство высококачественной энергии на крупных источниках вступает в противоречие со 2-м законом термодинамики;
- чем выше мощность источника, тем выше его энтропийный потенциал;
- любая централизованная система энергообеспечения, несмотря на все преимущества, способствует росту потерь (в объемах и в их видах).

**Принцип Ле Шателье–Брауна:** при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется (1-е следствие из закона внутреннего динамического равновесия).

**Принцип минимума возникновения энтропии (И. Пригожин, 1947):** из всех устойчивых стационарных состояний системы, допускаемых граничными условиями, законами переноса и сохранения, а также вторым законом термодинамики, реализуется состояние с минимальным производством энтропии.

Другое определение принципа И. Пригожина: достижению системой равновесного состояния (энтропия достигает максимума) препятствуют какие-то внешние условия (теплоизоляция, герметизация и др.), при которых система переходит в состояние стационарно неравновесное, характеризующееся минимальным значением скорости возникновения энтропии при данных внешних условиях:

$$\frac{S}{\tau} = \left( \frac{S}{\tau} \right)_{\min}.$$

Формулировка основного закона развития цивилизации как обеспечение неубывающего темпа роста полезной мощности, имеющейся в распоряжении общества, дает первые основания для определения меры оценки технико-экономического развития.

$$W = W_a + W_n, \text{ где } W_n = W_p + W_r. \quad (1.7)$$

Здесь  $W$  – полная мощность потоков на входе системы, т. е. полная располагаемая мощность, имеющаяся в распоряжении общества;  $W_a$  – активная мощность на выходе системы (в данном случае это та часть располагаемой мощности, которая затрачивается целесообразно,

в указанном выше смысле, на совершение внешней работы);  $W_p$  – пассивная мощность, мощность потока потерь, эти потери определяются несовершенством техники и технологии;  $W_r$  – реактивная мощность потока, которая определяется несовершенством организации общественного производства.

Для определения соотношения темпов роста различных составляющих потоков мощности, был введен критерий  $\eta_{\text{общ}}$  эффективности общественного производства, или просто критерий эффективности:

$$\eta_{\text{общ}} = \frac{W_a}{W} = (W - W_n) / W = 1 - W_{\Pi} / W, \quad W_a = \eta_{\text{общ}} W. \quad (1.8)$$

Условием прироста эффективности общественного производства является:

$$\frac{d\eta_{\text{общ}}}{dt} > 0. \quad (1.9)$$

В течение двадцатого века исследователи неоднократно обращались к «лицам» «тени» энергии – энтропии. При этом отмечалось, что, как и подобает тени, энтропия не передает всего многообразия красок и оттенков энергии – виды ее значительно менее разнообразны и не совпадают с видами энергии. *Назовем основные из них – тепловая, структурная и информационная.*

Определение тепловой энтропии рассмотрим ниже.

Структурная энтропия служит мерой неупорядоченности строения систем. Так, если из строительных деталей собрать дом, а из деталей автомобиля – автомобиль, то энтропия этих систем уменьшится, ибо упорядоченность их возрастет.

Получить представление об информационной энтропии поможет следующий классический пример. При охлаждении газа до температуры абсолютного нуля он сначала переходит в жидкое состояние, а затем – в твердое, т. е. из менее упорядоченного состояния во все более упорядоченное. Соответственно, растет и информация о расположении частиц газа, достигающая максимальной величины при абсолютном нуле, когда все они займут вполне определенное положение в твердом теле.

Таким образом, информация эквивалентна отрицательной энтропии, или, как предложил называть ее французский физик, один из творцов теории информации Л. Бриллюэн, «негэнтропии». *Следова-*

тельно, информационная энтропия – это мера неопределенности сообщения.

Л. Бриллюэн, основываясь на 2-м законе, виды энергии по ценности делит на три категории: А – механическую и электрическую; Б – химическую (атомная – не ядерная); В – тепловую. Наиболее ценны виды энергии категории А, которые способны полностью превращаться в виды Б и В. Химическая энергия занимает промежуточное положение из-за тепловых эффектов, сопровождающих химические реакции.

*Возрастание энтропии приводит к постепенной деградации энергии, которая последовательно переходит все ниже – из класса А в класс Б и далее в класс В.*

Во всякой изолированной системе энтропия возрастает, а негэнтропия убывает. Следовательно, негэнтропия характеризует качество энергии, а 2-й закон выражает закон деградации, обесценения, снижения уровня энергии. Отсюда система, способная производить механическую или электрическую работу, должна рассматриваться как источник негэнтропии (сжатая пружина, поднятый груз, заряженный электроаккумулятор и т. п.).

В неживой природе, где действует 2-й закон, понятие ценности связано с инертной материей, или, точнее, с энергией. В других областях «ценность», по-видимому, можно определить независимо, но и в большинстве таких случаев она подчиняется закону естественной убыли.

Из 2-го закона следует, что в состоянии полного равновесия системы с окружающей средой ее энтропия достигает максимального значения:

$$S = S_{\max}. \quad (1.10)$$

После этого система не может как-либо изменяться – функционировать, развиваться.

Поскольку энтропия в состоянии равновесия системы, достигнув максимума, больше не изменяется, скорость ее возрастания в этом состоянии равна нулю:

$$\frac{S}{\tau} = 0. \quad (1.11)$$

Однако в некоторых случаях достижению системой равновесного состояния препятствуют какие-то внешние условия (теплоизоляция

ция холодильного шкафа, герметизация баллонов со сжатым газом и т. п.). Тогда она приходит в состояние стационарно неравновесное, характеризующееся минимальным значением скорости возникновения энтропии при данных внешних условиях:

$$\frac{S}{\tau} = \left( \frac{S}{\tau} \right)_{\min}. \quad (1.12)$$

Это положение было впервые сформулировано в 1947 г. И. Пригожиным и названо принципом минимума возникновения энтропии.

В уточненном виде, позволяющем применить этот принцип для решения ряда задач, он формулируется так [6]: *из всех устойчивых стационарных состояний системы, допускаемых граничными условиями, законами переноса и сохранения, а также 2-м законом, реализуется состояние с минимальным производством энтропии. В такой форме этот принцип приобретает смысл принципа максимально возможного сохранения структуры системы в неравновесном состоянии.*

Работы Л. Бриллюэна и И. Пригожина, выполненные в прошлом веке, позволяют сформулировать основные принципы энергосбережения:

- из всех изменений, которые наблюдаются в реальных изолированных системах, следует использовать в первую очередь те, которые способствуют снижению интенсивности возрастания энтропии (ограничению темпов деградации энергии);
- обеспечение в любой изолированной системе состояния с минимальным производством энтропии и есть энергосберегающий принцип функционирования этой системы;
- принцип максимально возможного сохранения структуры системы в неравновесном состоянии и есть одно из условий энергосберегающего развития этой системы;
- энергосберегающая деятельность включает в себя следующие основные направления (по числу видов энтропии):
  - мероприятия по снижению темпов деградации любых видов энергии, связанных с их переходом в тепловую энтропию;
  - реализация мер, способствующих росту упорядоченности строения любых систем. Конечной целью здесь является формирование устойчивого общества, учитывающего интересы будущих поколений;
  - обмен информацией между отдельными частями в любой системе (и в обществе, в целом) должен способствовать накоплению негэнтропии (отрицательной энтропии), пусть даже и за счет роста расхода энергии.

В 1956 г. было введено понятие «эксергия». Этот термин был весьма популярный, очень широко использовался в самых различных научных исследованиях, поэтому рассмотрим одно из известных толкований этого явления.

Сразу же при появлении первых тепловых двигателей многие обращали внимание на невозможность использования всей подведенной к рабочему телу энергии. Большая часть энергии при работе любого двигателя в лучшем случае используется на тепловое загрязнение окружающей среды.

Уже отмечалось, что Р. Клаузиус в 1865 г., Д. У. Гиббс в 1875 г. сформулировали понятие свободной энергии системы, которое стало широко известным после статьи Г. Гельмгольца (1882 г.) и получило название термодинамического потенциала Гельмгольца.

Свободная энергия системы  $F = U - TS$  — это часть ее внутренней энергии  $U$ , которая может быть превращена в любую немеханическую работу  $W^*$  при постоянном объеме системы и постоянной температуре  $T$ , равной температуре окружающей среды. Такие процессы происходят в гальванических элементах, где химическая энергия превращается в электрическую работу, при фазовых превращениях и т. д. (т. е. когда механическая работа не совершается).

Внутренняя энергия систем состоит из двух частей:

$$U = F + TS, \text{ или } U = (U - TS) + TS,$$

одну из которых  $F = U - TS$  можно превратить в работу, за что ее и называют *свободной*, а другую  $TS$  — нет, за что ее называют *связанной*.

Максимальная работа, которую система может совершить при постоянной температуре и постоянном объеме, должна быть равна уменьшению свободной, а не полной энергии системы:

$$W_{\max}^* = -F = -U + TS. \quad (1.13)$$

Совершается максимальная работа только в идеальных, обратимых процессах.

Действительная работа, производимая системой в реальных, необратимых процессах, всегда меньше максимальной на величину необратимых потерь тепла в окружающую среду  $TS_{\text{н}}$ , где  $S_{\text{н}}$  — увеличение энтропии системы вследствие необратимости процесса:

$$W_{\text{д}}^* = -F - TS_{\text{н}} = -U + TS - TS_{\text{н}} < W_{\max}^*. \quad (1.14)$$

В изотермически-изобарных (при постоянных температуре и давлении) процессах работа совершается за счет уменьшения свободной энтальпии – полной энергии системы, складывающейся из внутренней энергии  $U$  и внешней запасенной механической (упругостной) энергии  $pV$ , где  $p$  – давление окружающей среды (например, атмосферное),  $V$  – объем системы. Свободную энтальпию называют также *потенциалом Гиббса*. Если обозначить энтальпию  $I = U + pV$ , то свободная энтальпия будет равна  $G = I - TS$ . В этих процессах, протекающих, например, в топливных элементах, при парообразовании и т. д., максимальная и действительная работы будут соответственно равны:

$$W_{\max}^* = G; W_{\text{д}}^* = -G - TS_{\text{н}} < W_{\max}^* . \quad (1.15)$$

Величины свободной энергии и свободной энтальпии определяют, как мы видели, исходя из равенства температур системы и окружающей среды – из изотермичности процесса, поэтому, как и энергия, эти потенциалы являются функциями состояния системы, т. е. их изменение в процессе не зависит от его характера, а определяется лишь разностью конечного и начального значений.

Однако в реальных условиях температуры системы (например, продуктов сгорания в цилиндрах автомобильного двигателя перед расширением) и среды обычно различны. В конце XIX в. француз Ж. Гюи и чех А. Стодола ввели новое понятие, учитывающее это различие, – технической работоспособности, или максимальной технической работы, которую может совершить система при переходе из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой, включающее и выравнивание температур. В 1956 г. Р. Рант подобрал для этой величины название, созвучное «энтропии», – «эксергия», часть же, не превращающаяся в работу, была названа «анергия».

**Закон Гюи – Стодолы гласит:** потеря эксергии из-за необратимости процессов равна произведению температуры окружающей среды на сумму приращенной энтропии всех тел, участвующих в исследуемых процессах,  $-T \sum \Delta S_{\text{н}}$ . Таким образом, эксергия зависит от температуры окружающей среды, а потому, строго говоря, не является функцией состояния системы, хотя ее условно и принимают за таковую.

Следовательно, если полная энергия идеальной системы складывается из свободной энергии и связанной энергии, то полная энер-

гия реальных систем делится на эксергию и анергию. Из сказанного выше ясно, что в одних и тех же условиях эксергия всегда меньше свободной энергии, а анергия всегда больше связанной энергии.

Из 2-го закона следует, что во всех необратимых процессах эксергия уменьшается, превращаясь в анергию, а в обратимых процессах она остается неизменной. Значит, в отличие от энергии, которая, строго говоря, не может «расходиться» и «теряться» по закону сохранения ее (допускающего лишь переход энергии из одной формы в другую), эксергия, характеризуя запас работоспособности системы, по мере совершения последней работы или при протекании других необратимых процессов всегда уменьшается, расходуется. Это позволило ввести, например, эксергетический коэффициент полезного действия двигателей – отношение использованной для получения движения эксергии к подведенной в теплообменных аппаратов – отношение эксергии теплоносителя на выходе к его эксергии на входе. *В результате получается, что в отличие от энергетического КПД, например, автомобильных двигателей, равного 25–40 %, эксергетический КПД достигает 80–90 %, и, наоборот, у паровых котлов первый равен 92–96 %, а второй – 50–60 %. Эксергетический КПД лучше отражает действительную эффективность рабочего процесса, поскольку показывает, какая часть работоспособности продуктов сгорания была использована в двигателе для совершения работы, а в паровом котле – для получения пара с параметрами его входа в турбину, т. е., например, с температурой около 500 °С – в 4 раза более низкой, чем в автомобильном двигателе.*

Эти достоинства эксергии сделали ее чрезвычайно популярной в качестве критерия оценки эффективности тепловых машин и аппаратов. Так, при сравнении теоретических циклов реальных тепловых машин, все процессы которых принимаются обратимыми, с идеальным обратимым циклом Карно, эксергетический КПД всех их равен 100 %.

В течение XX ст. ученые неоднократно делали попытки отыскать зависимость между деньгами и энергией. Чем это вызвано? Экономика, в первую очередь, рыночная, заставляет всех причастных к ней производителей и потребителей постоянно сравнивать, искать показатели, объективно отражающие результаты их экономической деятельности. Причем участники рынка неоднократно убеждались, что использование только стоимостных показателей в денежной форме зачастую не отражает фактической ситуации, реально сложившейся на соответствующем экономическом пространстве.



В свое время нобелевский лауреат В. В. Леонтьев (США) обосновывает необходимость производства экономического анализа в натуральных (т. е. не только энергетических) показателях тем, что даже свободное образование цен в условиях рыночных отношений не может быть свободным от искажений базовой цены любых товаров при наличии даже самого малого минимального их дефицита.

Таким образом, можно утверждать, что вопрос о том, как можно избавиться от цепных реакций искажения фактических затрат и цен, актуален для любого вида общественного производства.

Ввиду этого необходимость использования физических методов исследований в экономике является объективной реальностью.

В связи с энергетическим кризисом в 1974 г. очередной раз возникла необходимость поиска зависимости между деньгами и энергией. Развернутую картину такой зависимости дали американские ученые Г. Одум и Э. Одум в своей книге «Энергетический базис человека и природы» (1976). Сущность ее такова [15].

Деньги переходят из рук в руки выполняют роль посредника, обеспечивающего обмен товарами и услугами. Однако **в природе нет денег, и обмен совершается, как мы видели, энергией и энтропией: в основе материального производства – продуктов питания и промышленных товаров – тоже лежит энергоэнтропийный обмен.** Причем, как мы знаем, большая часть энергии и негэнтропии, овеященная в продуктах и товарах, – это солнечная энергия, энергия движения воды в реках и морях и энергия движения воздуха в атмосфере.

Деньги появляются лишь на завершающей стадии трудового процесса как некий его эквивалент, более удобный для обмена, чем сам продукт труда. Однако сложные условия социально-экономической, общественно-политической и духовно-психической жизни человеческого общества, неустойчивость его потребностей, меняющихся часто под действием таких случайных факторов, как кризисы, войны, моды и т. д., не позволяют деньгам быть действительно однозначным эквивалентом трудового процесса, т. е. затраченной и «сбереженной» в нем энергией или негэнтропией: курс денег выше или ниже этих величин. Кроме того, люди и государства накопили такие огромные богатства в виде ценностей значительно более дорогих, чем золото, что его стоимость тоже стала весьма неустойчивой. В результате и золотой эквивалент на заре денежной системы, выражавшей количество энергии, затраченной горняком или старателем на поиски,

добычу, транспортировку, обработку и даже охрану этого редкого металла, тоже теряет свое значение.

Вместе с тем экономические системы, используя имеющиеся в их распоряжении ресурсы сырья и энергии, призваны обеспечивать определенный уровень жизни населения. Однако люди – небольшая часть биосферы и таких экологических систем, как океаны, атмосфера, почва, леса и т. д., поэтому определяющим фактором их уровня жизни может быть величина потребления энергии в единицу времени, что зависит от ее общих запасов на Земле и их доступности.

Вот почему энергия (и негэнтропия), а не деньги должна стать единицей измерения и оценки, ибо только в этом случае можно будет всюду правильно оценивать и контролировать тот вклад, который вносит природа в существование человеческого общества.

В обществе с развитым денежным обращением энергия накапливается в виде информации, денег, технологических знаний и общественных договоров. Функционирование накопителей энергии обеспечивается затратами потенциальной энергии. Существование в системе накопителей энергии способствует улучшению циркуляции денег, материалов и услуг, подводу новых количеств энергии и т. д.

Поэтому сразу после энергетического кризиса в 1974 г. конгресс США принял закон, в соответствии с которым при осуществлении федеральных программ обязателен энергетический анализ различных технологий производства и преобразования энергии. В этот же период был создан институт энергетического анализа, в первую очередь, для разработки единой методологии.

Достаточно подробно эти методы сравнительной оценки технологических процессов были использованы в книге Х. Чоджоя «Энергосбережение в промышленности» (1979 г.), переведенной на русский язык [10].

Появились такие работы и в бывшем СССР. Так, Уральским научным центром АН СССР был предложен метод энергетической оценки современных промышленных технологий. Именно в результате этих работ были разработаны основы интегрированного энергетического анализа (ИЭА), который можно рассматривать как методологическую основу энергосбережения. Подробно теория ИЭА, включая методику определения полной энергоемкости изготовления продукции, изложена в работе [16].

Основной итог всех этих исследований – устойчивый рост благосостояния общества возможен только при обеспечении принципа

энергетической рецессии, т. е. при снижении темпов роста удельных объемов, потребления первичной энергии.

#### 1.4. Законы экологии

Экологический фактор динамичен, изменчив во времени и пространстве. Однако каждому организму требуется строго определенные уровни, количество (дозы) экологических факторов, а также определенные пределы их колебания. Если режимы всех экологических факторов соответствуют наследственно заложенным требованиям организма (т. е. его генотипу), то он способен выживать и давать жизнеспособное потомство. Требование и устойчивость того или иного организма к экологическим факторам определяют границы географической зоны, в пределах которой он может обитать. Факторы окружающей среды определяют также амплитуду колебаний численности того или иного вида во времени и пространстве, которые никогда не остаются постоянными, а изменяется в более или менее широких пределах. Анализируя взаимосвязь различных экологических факторов, были сформулированы основные законы экологии.

**Закон минимума Либиха.** Так, в 1840 г. немецкий ученый агрохимик Юстус Либих издал книгу «Химия в приложении к земледелию и физиологии», в которой описал процессы питания растений и влияние разнообразных факторов и элементов питания на их рост. В результате анализа было показано, что урожай сельскохозяйственных культур ограничивается (лимитируется) теми элементами, которые необходимы растениям в минимальных количествах, но которых и в почве очень мало. При формулировке своих обобщений Либих пользовался определением «лимитирующий» по отношению к факторам среды. В экологии под лимитирующим (ограничивающим) фактором понимается любой фактор, который ограничивает процесс развития или существования организма, вида или сообществ. Результаты своих исследований Ю. Либих сформулировал так: **«Веществом, присутствующим в минимуме, управляется урожай, определяется его величина, и стабильность во времени».** Этот результат исследований в экологии получил название – **Закон минимума Либиха** со следующей формулировкой: «Рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве (минимуме). Если этот минимум привести к оптимуму, то следующее ограничение в росте растения будет вносить тот элемент, который, в свою очередь, оказался в минимуме».

Своими исследованиями Либих обосновал теорию минерального питания растений и создал научные основы повышения плодородия почв, предложил структуру и состав минеральных удобрений, разработал рецепт хлеба из муки грубого помола, пекарский порошок и кофейный экстракт, некоторые виды детского питания.

Как показали дальнейшие исследования, закон минимума справедлив не только для растений, но и для всех живых организмов, в том числе и человека. Наряду с расширением области закона минимума, американский ученый **В. Шелфорд** показал, что вещество (или любой другой фактор), присутствующий не только в минимуме, но и в избытке по сравнению с требуемым организму уровнем, может приводить к нежелательным последствиям для организма. Обобщая все полученные результаты, современную формулировку закона минимума можно озвучить так: **«Выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей».**

**Закон толерантности Шелфорда.** Как уже упоминалось выше, американский ученый – зоолог Виктор Шелфорд своими исследованиями на живых организмах показал, что лимитирующим фактором может быть не только недостаток, но и избыток факторов. В экологии такое положение получило название **закона толерантности Шелфорда**, который гласит: **«Лимитирующим фактором, ограничивающим развитие организма, может быть, как минимум, так и максимум экологического воздействия».** Диапазон между этими величинами определяет величину выносливости организма. Термин толерантность – от греч. слова *толеранция* – «терпение». Отсюда слово «толерантный» переводится как «устойчивый», «терпимый», а *толерантность можно определить как способность организма выдерживать отклонения экологических факторов от оптимальных для его жизнедеятельности значений.*

Следует отметить, что для организма имеет значение не только собственно амплитуда колебания, но и скорость, с которой фактор изменяется.

Диапазон толерантности по каждому фактору ограничен его минимальными и максимальными значениями, в пределах которых только и может существовать данный организм.

Благоприятный диапазон действия экологического фактора называется **зоной оптимума (зоной нормальной жизнедеятельности).** Чем значительнее отклонение действия фактора от оптимума, тем больше данный фактор угнетает жизнедеятельность популяции. Этот

диапазон называют **зоной угнетения**. Максимально и минимально переносимые значения фактора – это критические точки, за пределами которых существование организма или популяции невозможно.

Как отмечают экологи, смысл закона толерантности состоит в том, что плохо как не докормить, так и перекормить растение либо животное. Из этого закона следует, что: **«любой избыток вещества или энергии является загрязняющим среду компонентом»**.

**Законы взаимодействия человека и биосферы Дансера и Коммонера.** Человек тоже является компонентом биосферы, следовательно, участвует в ее круговороте. Учитывая, что деятельность человека большей частью направлена на удовлетворение своих потребностей, конечным результатом которых является воздействие на окружающую среду, которое при нерациональном использовании тех или иных законов природы может привести и уже приводит к их нарушению, например, проблема изменения климата. По результатам наблюдений, анализа воздействия человека на окружающую среду были сформулированы в виде законов следующие правила либо постулаты. **Так, в 1957 г. П. Дансера сформулировал три экологических закона, описывающих особенности взаимодействия человека и биосферы:**

1. Закон необратимости взаимодействия в системе «человек – биосфера» – часть возобновляемых природных ресурсов могут стать невозновляемыми, если деятельность человека сделает невозможным их жизнедеятельность и воспроизводство. (За последние 400 лет с лица Земли исчезло свыше 160 видов млекопитающих и птиц).

2. Закон обратимости биосфер. Биосфера после прекращения воздействия на ее компоненты антропогенных факторов стремится восстановить свое состояние, т. е. сохранить свое экологическое равновесие и устойчивость.

3. Закон обратной связи взаимодействия в системе «человек – биосфера» или закон бумеранга. Любое изменение в природной среде, вызванное хозяйственной деятельностью человека, бумерангом возвращается к человеку и имеет нежелательные последствия, влияющие на экономику, социальную жизнь и здоровье людей. Примером могут служить Чернобыль, осушение болот, строительство плотин и дамб и т. п.

**«Законы» экологии Коммонера:**

1. **Все связано со всем** – первый закон обращает внимание на всеобщую связь процессов и явлений в природе и близок по смыслу к закону внутреннего динамического равновесия: изменение одного из

показателей системы вызывает функционально-структурные, количественные и качественные перемены, при этом сама система сохраняет общую сумму вещественно-энергетических качеств.

**2. Все должно куда-то деваться** – второй закон также близок к рассмотренному выше, а также закону развития природной системы за счет окружающей ее среды, особенно первому его следствию.

**3. Природа «знает» лучше** – третий закон говорит о том, что, пока нет абсолютно достоверной информации о механизмах и функциях природы, мы, подобно человеку, незнакомому с устройством часов, но желающему их починить, легко вредим природным системам, пытаясь их улучшить. Он призывает к предельной осторожности вмешиваться в законы природы. (Потенциально осуществимое разнообразие природы оценивается числами с порядком от  $10^{1000}$  до  $10^{50}$ , чтобы проследить возможные варианты сочетаний этих чисел  $10^{50}$  на ЭВМ с  $10^{10}$  операций в секунду, потребуется  $3 \times 10^{21}$  лет, что почти в  $10^{12}$  раз дольше существования жизни на Земле.)

**4. Ничто не дается даром** – четвертый закон вновь касается тех проблем, которые обобщает закон внутреннего динамического развития и закон развития природной системы за счет окружающей ее среды. Коммонер так разъясняет свой четвертый закон: «... глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которого ничего не может быть выиграно или потеряно и которое не может являться объектом всеобщего улучшения: все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возмещено. *Платежа по этому векселю нельзя избежать: он может быть только отсрочен*» (Коммонер, Б. Замыкающий круг. – Л., 1974. – С. 32).

Согласно вышесказанному, при любых физических или химических взаимодействиях, при любом перемещении вещества из одного места в другое, при любом изменении температуры энергия не возникает и не исчезает, а только превращается из одного вида в другой. Другими словами, энергия, полученная или затраченная какой-либо живой или неживой системой, должна быть равна той энергии, которую одновременно получила от системы или отдала ей окружающая ее среда. Закон подразумевает, что *в результате превращений энергии никогда нельзя получить ее больше, чем затрачено: выход энергии всегда равен ее затратам; нельзя из ничего получить нечто, за все нужно платить* («бесплатный сыр бывает только в мышеловке»). Другая особенность превращения энергии из одного вида в другой – всегда происходит снижение качества энергии, или уменьшается ко-

личество полезной энергии. Закон снижения качества энергии отражает второй закон термодинамики. Представим его на примерах.

1. Когда движется автомобиль, в механическую энергию, приводящую его в движение, и электрическую энергию всех его систем превращается всего лишь около 10 % получаемой при сгорании бензина высококачественной химической энергии. Остальные 90 % в виде бесполезного тепла и вредных выбросов рассеиваются в окружающей среде.

2. Когда электрическая энергия проходит через нить лампы накаливания, 5 % этой энергии превращается по назначению в световые излучения, а 95 % в виде тепла рассеивается в окружающей среде.

3. Когда вы едите растительную пищу, например, банан, его высококачественная химическая энергия в вашем организме превращается в реальную электрическую и механическую энергию (используемую организмом для обеспечения процессов жизнедеятельности), а также в низкопотенциальное тепло.

Из всех этих примеров видно, что мы практически никогда не можем восстановить или повторно использовать высококачественную энергию для выполнения полезной работы. Будучи раз использованной, сконцентрированная высококачественная энергия, которая содержится в литре бензина, полене дров или куске урана, рассеивается в окружающей среде в виде низкопотенциального тепла. Мы можем вмешаться в сам процесс, например, дополнительно параллельно использовать часть бесполезно теряемой энергии для нагрева воздуха или воды (так называемый вторичный энергоресурс). Но в конечном итоге речь может идти об изменении коэффициента полезного действия данного процесса.

Для того чтобы любой организм, например, человека, нормально функционировал, он должен потреблять получаемые извне вещества и энергию высокого качества. Используя эти ресурсы, вы возвращаете в окружающую среду низкокачественное тепло и менее упорядоченное вещество в виде отходов. Так, тело человека постоянно излучает такое же количество тепла, как электрическая лампочка мощностью 100 Вт. Кроме того, постоянно выделяются в атмосферу молекулы оксида углерода и водяных паров. Итак, при реализации любого технологического процесса в окружающую среду выбрасываются низкокачественное тепло, а также поступают вредные выбросы, сбросы и отходы.

Таким образом, все формы жизни – это многочисленные хранилища **порядка**, который поддерживается созданием океана **беспорядка** в окружающей их среде.

Определяющей чертой любого развивающегося общества следует считать постоянно возрастающие масштабы использования ресурсов вещества и энергии высокого качества для поддержания порядка в организме человека, а также в более крупных хранилищах порядка, называемых цивилизациями. Значит, современные промышленные сообщества повышают энтропию окружающей среды в больших масштабах, чем на любом предыдущем этапе человеческой истории. **Это энтропийный капкан.** Да, согласно второму закону термодинамики, избежать увеличения энтропии окружающей среды нельзя. **Но логика подсказывает, что с каждой новой энергетической эпохой развития общества человечество обязано не только механически увеличивать потребление энергии, но и сводить к минимуму то количество энтропии, которое производим мы сами.**

И конечными лимитирующими показателями здесь должны быть уровни удельного потребления энергии, других ресурсов, а также выхода выбросов, сбросов и отходов на единицу валового внутреннего продукта, а уже потом душевое потребление энергии. При оценке затрат энергии на выпуск конкретной продукции этим показателем должна быть удельная энергоемкость, определенная путем сквозных расчетов по всей технологической цепи (методом энергетического анализа).

## Литература

1. Энергосбережение: Введение в проблему : учеб. пособие / Н. И. Данилов, А. И. Евпланов, В. Ю. Михайлов, Я. М. Щелоков. – Екатеринбург : Сократ, 2001. – 208 с.
2. Глазьев, С. Ю. Эволюция технико-экономических систем: Возможности и границы централизованного регулирования / С. Ю. Глазьев, Д. С. Львов, Г. Г. Фетисов. – М. : Наука, 1992. – 208 с.
3. Королев, Е. А. Организационный механизм трансформации экономических систем. Проблемы теории и практики / Е. А. Королев. – Екатеринбург : Урал. гос. экон. ун-т, 2002. – 418 с.
4. Данилов, Н. И. Энергосбережение – религия XXI в. / Н. И. Данилов. – Екатеринбург : ИЭЭТ, 2004. – 48 с. ; 2006. – 63 с.
5. Энергетический анализ. Методика и базовое информационное обеспечение : учеб. пособие / В. Г. Лисиенко, А. В. Мехренцев, Ю. А. Ширин. – Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2001. – 100 с.



6. Теплотехника : учеб. для вузов / А. П. Баскаков [и др.] ; под ред. А. П. Баскакова. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 264 с.

7. Касаткин, И. И. Справочное пособие для теплотехников промышленных предприятий / И. И. Касаткин. – Минск : Госиздат БССР, 1963. – 304 с.

8. Данилов, Н. И. Энциклопедия энергосбережения / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков. – Екатеринбург : Сократ, 2002. – 352 с. ; 2004. – 368 с.

9. Свентицкий, И. И. Проблемы термодинамики и нетрадиционная энергетика / И. И. Свентицкий // ТЭК. – 2004. – № 3. – С. 144–146.

10. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 13 нояб. 2009 г. № 1715-р. // Прил. к обществ.-дел. журн. «Энергетическая политика». – М. : ГУ ИЭС, 2010. – 184 с.

11. Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. – М. : ОАО РАО «ЕЭС России», 2008.

12. Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 8 янв. 2009 г. № 1-р.

13. О научных основах энергосбережения. – URL: <https://poznayka.org/s-32643t1.html>.

## **Глава 2. ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ**

**2.1. Сущность и значение инноваций. 2.2. Технологическое развитие энергетики. 2.3. Энергетические проблемы и живая природа.**

### **2.1. Сущность и значение инноваций**

Принятая в ноябре 2008 г. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. [1] определила в качестве основной задачи на предстоящий период переход от экспортно-сырьевой к инновационной модели экономического роста, способной обеспечить рост конкурентоспособности российской продукции и услуг на внутреннем и мировых рынках.

В настоящее время инновационному развитию нашей страны уделяется беспрецедентное внимание. При этом существует неоднозначность в определениях понятия «инновация» в отечественной и иностранной экономической литературе. Строгость толкования этого понятия отсутствует и в основных нормативных документах, связанных с инновационным развитием.

В частности, этот термин толкуется и просто как калька с английского «*innovation*» («нововведение»); и как такое нововведение, которое связано с новой техникой или технологией; и как нововведение, обеспечивающее достижение мирового уровня выпускаемой продукции; и как нововведение, достойное патентования; имеются и некоторые другие формулировки. В результате за инновации может выдаваться простая замена старой техники новой, но отстающей от передовых образцов техникой, которая не отвечает достигнутому уровню научно-технического прогресса.

Понятие инноваций по-разному трактуется зарубежными и отечественными учеными в зависимости от объекта и предмета исследований (В. Д. Хартман, Э. Мэнсфилд, Р. Фостер, Б. Твисс, Й. Шумпетер, Э. Роджерс, Н. Мончев, И. Перлаки, А. В. Горностаева, С. Д. Ильенкова, С. В. Кортов, С. Ю. Ляпина, И. Л. Туккель, Э. А. Уткин, О. В. Федоров, А. А. Харин и др.). Но анализ различных определений этого понятия показывает, что специфическое содержание инновации

составляют изменения и главной функцией инновационной деятельности является функция изменения.

Основоположником современной трактовки понятия «инновация» считается австрийский ученый Йозеф Шумпетер, который в своей работе «Теория экономического развития», изданной в 1912 г., рассматривал инновацию как средство предпринимательства для увеличения прибыли [2]. Позднее, в 30-х гг. XX в., Й. Шумпетер уточнил понятие «инновация», рассматривая ее как изменение с целью внедрения и использования новых видов потребительских товаров, новых производственных и транспортных средств, рынков и форм организации в промышленности. Он выделил следующие пять типичных изменений (рис. 2.1), характерных для инноваций в экономическом развитии: 1) использование новой техники, новых технологических процессов или нового рыночного обеспечения производства (купля-продажа); 2) внедрение продукции с новыми свойствами; 3) использование нового сырья; 4) изменения в организации производства и его материально-технического обеспечения; 5) появление новых рынков сбыта.

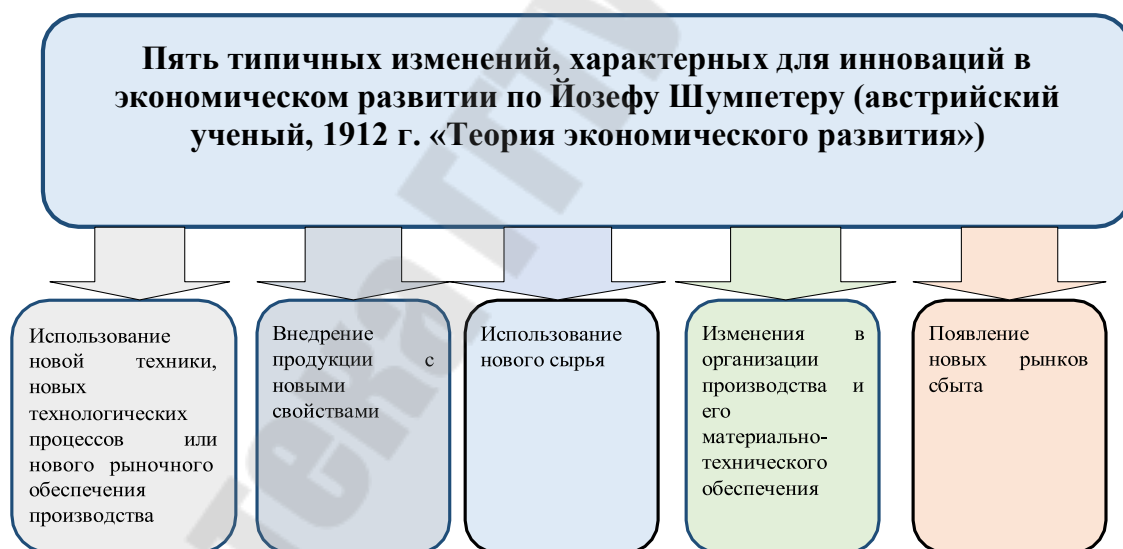


Рис. 2.1. Пять типичных изменений, характерных для инноваций по Й. Шумпетеру

Эти выводы Й. Шумпетера фактически лежат в основе многих работ ученых, занимающихся проблемами инноваций. Появились десятки внешне отличающиеся, но фактически сходных определений инновации и производных от этого термина. Образовалось нежела-

тельное для научной терминологии явление синонимии. Поэтому для унификации описания инноваций в условиях рыночной экономики международным сообществом к настоящему времени разработаны и продолжают совершенствоваться международные стандарты.

Так, с целью координации работ по сбору, обработке и анализу информации о науке и инновациях в рамках Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) была образована Группа национальных экспертов по показателям науки и техники, которая работала так называемое Руководство Фраскати («Предлагаемая стандартная практика для обследований исследований и экспериментальных разработок») (далее – Руководство). Документ получил это название от итальянского города Фраскати, в котором в 1963 г. была принята первая версия Руководства.

В Руководство Фраскати периодически вносятся уточнения, связанные с изменениями в стратегии научно-технической политики на национальном и международном уровнях. В одной из последних редакций Руководства Фраскати (1993 г.) содержатся основные понятия, относящиеся к научным исследованиям и разработкам (НИОКР), уточнены их состав и границы, представлена методика измерения численности персонала, занятого исследованиями и разработками.

В то же время в 1992 г. разработан международный документ (известный под названием «*Руководство Осло*» (далее – РО)), в котором для стран Европейского Союза (ЕС) даны унифицированные определения терминов, связанных с инновационной деятельностью вообще и с термином *инновация*, в частности [3].

В соответствии с международными стандартами инновация определяется как конечный результат инновационной деятельности, получивший воплощение в виде нового или усовершенствованного продукта, внедренного на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, либо в новом подходе к социальным услугам.

Инновационная деятельность – один из самых эффективных видов экономической деятельности. Результаты расчетов свидетельствуют о том, что на один рубль затрат инновационно-активные предприятия обеспечивают объемы выпуска продукции в 7–10 раз больше, чем при ее производстве по традиционным технологиям.

Важно отметить, что для России развитие инновационной экономики крайне актуально потому, что ее экономика существенно отстала от экономик развитых стран. Так, приоритетное развитие и до-

минирующее положение в экономиках развитых стран занимают биотехнологии, нанотехнологии, информационные технологии и т. д., в то время как наша отечественная экономика находится все еще на индустриальной стадии. Чтобы Россия сохранила себя в качестве равного члена группы развитых стран (G8) и не оказалась на второстепенных ролях в мировой структуре распределения труда, необходимы действенные и решительные меры, направленные именно на инновационное развитие экономики.

По оценкам экспертов [5], 75–90 % прироста ВВП в развитых странах мира обеспечиваются сегодня за счет развития инновационного сектора. В России инновационная составляющая прироста ВВП пока находится на уровне только 10 %, что не способствует обеспечению общей эффективности экономики. Упущенная выгода России из-за инновационного отставания оценивается экспертами в 1214 млрд долл. в год. Доля топлива и сырья в мировом экспорте сокращается и прогнозируется менее 10 % к 2020 г.

Важно и то, что сырьевой путь развития ведет не только к утере значимости России в мировой экономике, но и к жесткой конкуренции России с другими добывающими странами, у которых условия добычи полезных ископаемых существенно благоприятнее. В настоящее время конкурентоспособность экономики России объявлена руководством страны одной из приоритетных задач.

Уровень конкурентоспособности стран и перспективы достижения устойчивого экономического роста могут быть проанализированы с помощью интегральных индикаторов, регулярно рассчитываемых и публикуемых рядом авторитетных международных организаций. Например, Всемирный экономический форум (ВЭФ, или WEF от англ. «World Economic Forum») в ежегодно публикуемом докладе о глобальной конкурентоспособности «WEF Global Competitiveness Report» представляет два сводных показателя конкурентоспособности экономики страны: Growth Competitiveness Index (GCI – Индекс конкурентоспособности роста) и Business Competitiveness Index (BCI – Индекс конкурентоспособности бизнеса) [7]. GCI оценивает глобальную конкурентоспособность стран на основе наиболее важных для экономического роста макроэкономических показателей. BCI оценивает конкурентоспособность национальной экономики на микроуровне. По обоим показателям Россия находится далеко не на лидирующих позициях, занимая места в интервале с 58 по 89, пропустив вперед Индию и Китай, а также некоторые бывшие республики Со-

ветского Союза. Но следует иметь в виду, что номер места зависит и от количества стран-участниц рейтинга. Так, с 1999 г. по настоящее время ВЭФ расширила количество участвующих в рейтинге стран с 59 до 125.

Еще одной международной организацией, составляющей рейтинг конкурентоспособности стран, является Международный институт развития управления (IMD – International Institute for Management Development). Он публикует «Отчет о мировой конкурентоспособности» (The World Competitiveness Yearbook), девизом которого служит фраза: «Страны конкурируют в предоставлении среды, в которой предприятия могут успешно конкурировать». В рейтинге IMD по фиксированной выборке стран Россия занимает по показателям *экономическая ситуация, эффективность государства, эффективность бизнеса, уровень развития инфраструктуры* разные места, но все они расположены во второй половине списка стран-участниц рейтинга.

В то же время Россия имеет ряд конкурентных преимуществ, которые не реализованы до настоящего времени в должной степени. Так, наличие природных богатств, обладание мощной топливно-сырьевой базой, конечно, служит огромным конкурентным преимуществом России. Это дает возможность нашей стране обеспечивать устойчивость функционирования экономики даже в условиях глобальных кризисных явлений. Отрицательная сторона такого положения дел – ослабление мотивации к разработке и внедрению в практику новых прорывных технологий. В практике международных сравнительных исследований возможности для создания, разработки, внедрения и распространения полезных новшеств (новых знаний, идей, технологий, товаров, услуг, методов управления, процессов, социокультурных образцов и т. д.) оцениваются инновационным потенциалом. Существующие индексы инновационного потенциала стран мира включают в себя, как правило, до 100 количественных и качественных переменных с определенными «весами», которые учитывают сферу образования, науки, технологий, человеческий капитал, политический и инновационный климат в стране и т. д. и интегрируют данные официальной национальной статистики, опросы общественного мнения и экспертные опросы [8].

Измерением инновационного потенциала стран мира занимаются международные организации. Среди них наиболее известные и авторитетные – Всемирный Банк (World Bank – WB), крупные аналитические международные компании, упоминавшаяся выше

организация The World Economic Forum (WEF), компании: RAND Corporation, the UN Development Program (UNDP), the UN Industrial Development Organisation (UNIDO), EU Commission European innovation и т. д. Выполненные перечисленными организациями результаты аналитических исследований используются крупными международными инвесторами и правительствами национальных государств для выделения финансовых кредитов, инвестиций, для принятия управленческих государственных решений в области инновационной политики. В табл. 2.1 представлены некоторые индексы инновационного потенциала применительно к России для 2009 г.

Таблица 2.1

**Значения индексов (ранги) инновационного потенциала России**

Индекс	Ранг России в 2009 г.	Количество стран – участниц рейтинга
Innovation Index WB	41	145
Innovation Capacity Index	49	130
Global Innovation Index INSEAD	68	130
Innovation Index WEF	73	133

В Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. [0] полагается, что российская экономика не только останется мировым лидером в энергетическом секторе, добыче и переработке сырья, но и создаст конкурентоспособную экономику знаний и высоких технологий. К 2020 г. доля экономики знаний и высокотехнологичного сектора в ВВП должна составлять не менее 17–20 % (в 2007 г. – 10–11 %). Внутренние затраты на исследования и разработки должны подняться до 2,5–3 % ВВП в 2020 г. (в 2007 г. – 1,1 % ВВП) при кардинальном повышении результативности фундаментальных и прикладных исследований и разработок. Россия к 2020 г. может занять значимое место (5–10 %) на рынках высокотехнологичных товаров и интеллектуальных услуг в 5–7 и более секторах. Доля промышленных предприятий, осуществляющих технологические инновации, должна возрасти до 40–50 % (в 2007 г. – 8,5 %), а доля инновационной продукции в объеме выпуска – до 25–35 % (в 2007 г. – 5,5 %).

Побудительной причиной инновационного развития экономики служат кризисные вызовы. При отсутствии таких вызовов отсутствует

острая необходимость разработки и практического внедрения нов-



шеств. С этой точки зрения можно утверждать, что в настоящее время наиболее инновационными секторами российской экономики становятся нефтедобыча и энергетика. Прогнозируемые в обозримом будущем энергетические кризисы создают реальные стимулы для инноваций. Поэтому локомотивом инновационного роста для всей экономики может стать топливно-энергетический комплекс. Если учесть, что Россия позиционируется в мире как энергетическая супердержава, то сделанное утверждение воспринимается вполне логично.

В настоящее время в условиях глобальной экономики центр тяжести конкурентной борьбы все более перемещается в сферу инноваций и технологий. При этом технологическое соперничество начинает появляться не только в традиционных секторах высоких технологий: информации и связи, биотехнологиях и фармацевтике, авиации и космосе. Оно охватывает и те отрасли, которые традиционно не укладывались в понятие наукоемких: сельское хозяйство, строительство, пищевая промышленность и др. Особо следует выделить технологическое соперничество в области энергетики по причине роста дефицита углеводородного сырья, усложнения условий его добычи и транспортировки, разрастания экологических и климатических проблем. Поэтому уже сейчас деятельность компаний – мировых лидеров современной энергетики характеризуется последовательной реализацией стратегий освоения передовых научно-технических достижений, направленных на снижение издержек, освоение новых методов разведки, добычи, транспортировки и хранения продукции, а также на использование альтернативных источников энергии.

Важно отметить, что экономические условия инновационного развития энергетики, особенно нефтегазового сектора, весьма неоднозначны и противоречивы. С одной стороны, объективной реальностью современного периода является постоянное усложнение и удорожание технологий добычи, переработки и транспортировки топливно-энергетических ресурсов, вызванное необходимостью освоения все более труднодоступных месторождений и ухудшающимся качеством исходного сырья. При этом рост издержек существенно опережает рост объемов добычи. С другой стороны, доля издержек в цене на нефть традиционно продолжает оставаться относительно небольшой и потому снижение издержек не служит, как правило, ключевым фактором для внедрения инновационных технологий в нефтегазовой отрасли. Поэтому существенным тормозом развития научно-технологической и инновационной деятельности многих компаний,

особенно из стран-производителей нефти, служит тот факт, что цены на нефть на мировом рынке в 10–20 раз превышают издержки производства. Это позволяет получать монопольную сверхприбыль и при использовании старых технологий.

По этой причине крайне сложно решить проблему отсутствия спроса на российские инновации на внутреннем рынке, так как в стране нет явных кризисных вызовов, способных такой спрос вызвать. Тем не менее ситуация может измениться, поскольку вероятность возникновения в России энергетического кризиса существует и она прогнозируется экспертами как достаточно высокая. Это послужит реальным инновационным вызовом. Более того, мир движется к глобальному энергоэкологическому кризису, который вызовет энергоэкологическую революцию, ориентировочно к 2030 г. Экологическая катастрофа в Мексиканском заливе в 2010 г., связанная с рисками при добыче нефти со дна моря, служит одним из факторов, подталкивающих мировое сообщество наращивать усилия, направленные на поиск альтернативных источников энергии. Не случайно на всех саммитах глав государств «большой восьмерки» (G8) рассматривались мировые проблемы, связанные с обеспечением устойчивого развития энергетики. Поэтому необходимо успеть модернизировать российскую экономику до того, как упадут цены, иссякнут запасы нефти и газа или мировая экономика перейдет на альтернативные источники энергии. Эта необходимость приводит к тому, что именно топливно-энергетический сектор может стать центром инновационного развития экономики России. Для анализа этой возможности рассмотрим основные пути технологического развития энергетики, обеспечиваемые достигнутым уровнем научно-технического прогресса и стимулируемые инновационными вызовами.



Рис. 2.2. Инновации в развитии человеческого общества

## 2.2. Технологическое развитие энергетики

Развитие человеческого общества связано с инновациями (схема на рис. 2.2).

Величайшей инновацией доисторического периода, выделившей человека из животного мира, было овладение огнем. Только человек сумел использовать кроме собственной биологической энергии энергию внешней природы – небиологическим способом, перестал быть ограниченным возможностями организма. Вначале запасенная в топливе энергия увеличила энергию человека лишь для того, чтобы отгонять хищников, греться в холодное время, лучше усваивать приготовленную на огне пищу, а значит, дать больше возможностей для развития мозга. Развиваясь, человечество накапливало инновационный потенциал. Изобретения водяного колеса и ветряных крыльев позволили перейти от мускульной силы человека и животных к широкому использованию с VIII в. энергии воды и ветра.

Решающий скачок перехода к индустриальному обществу произошел при изобретении паровой машины. В России она была открыта и построена Иваном Ползуновым на 15–20 лет раньше, чем в других странах, но не была реализована в виде промышленного потенциала. И только когда Д. Уатт сделал паровую машину, получив в 1769 г. английский патент № 013, это мгновенно привело к достаточно серьезным последствиям – к появлению машинного мануфактурного производства. Это была инновационная революция, которую историки называют промышленным переворотом.

Широкое использование паровых машин вызвало нехватку древесины, использовавшейся в качестве топлива. На ее замену пришел каменный уголь. Уголь стал главным топливом, заняв четыре пятых в топливном балансе с начала электрической эры в XIX в. Из него научились (воздействуя высокой температурой без доступа воздуха) получать светильный газ, который стал широко использоваться для освещения и отопления городов. (В 1799 г. французский инженер Филипп Лебон (1767–1804) получил патент на использование и способ получения светильного газа путем сухой перегонки древесины или угля). Главенствующая роль угля продолжалась вплоть до середины XX в., хотя первая промышленная скважина (глубиной в десять метров), пробитая в США в штате Пенсильвания, дала нефть еще в 1859 г.

Известно, что из нефти вначале вырабатывали только керосин, а бензин считали вредной примесью. Он слишком легко воспламенялся и вызывал пожары. Использовать бензин для освещения было невоз-

можно, а другого применения ему не находили. За лучший способ уничтожения бензина на заводах, производящих керосин, предлагалась премия. Даже в начале XX в. бензин все еще считался бесполезной жидкостью. В России в 1902 г. умышленно было уничтожено около 70 тыс. т бензина [10].

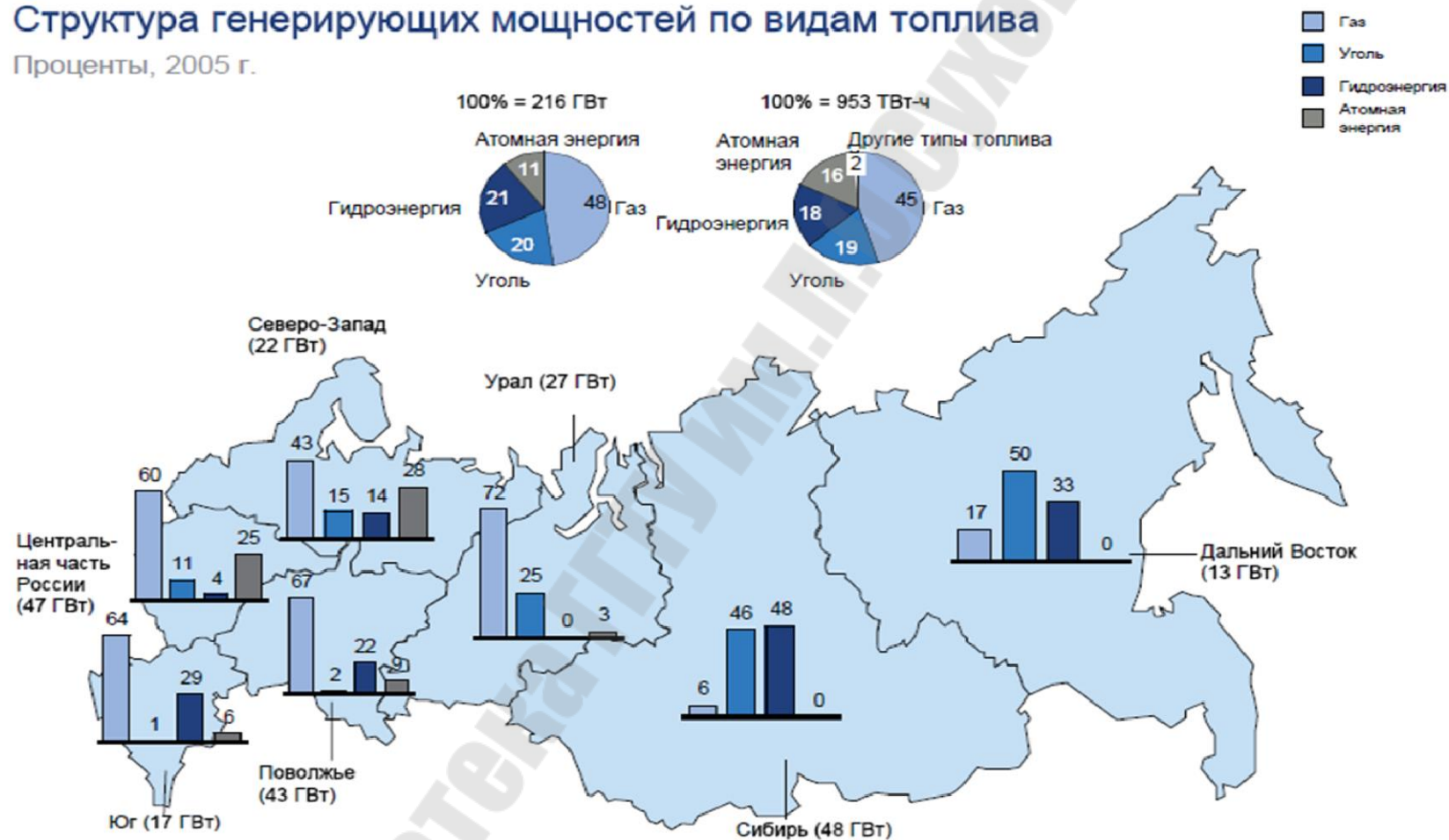
С появлением автомобилей на бензин возник грандиозный спрос. Но следует отметить, что первый коммерчески успешный двигатель внутреннего сгорания, сконструированный в 1860 г. бельгийским инженером Жаном Этьеном Ленуаром (1822–1900), работал на светильном газе. В 1895 г. в США было всего четыре автомобиля, в 1900 г. во всем мире (в основном в США) уже было от 4 до 8 тыс. автомобилей, а в 2008 г., по данным источника Cars and Vehicles (Statistical Information and Demographics), в мире насчитывалось 700–750 млн автомобилей. Учитывая, что автомобили с начала серийного производства работали на бензине, становится понятным возникновение нефтяного бума.

После окончания Второй мировой войны уголь отошел на второй план. А к 1970 г. нефть и природный газ (добываемый нередко из тех же месторождений, что и нефть) занимали уже две трети в мировом топливном балансе. Казалось, нефть победила уголь окончательно и бесповоротно, но в 1973 г. мир поразил энергетический кризис. Причины кризиса понятны. Нефть на земном шаре распределена неравномерно. Как правило, там, где она нужнее всего, ее мало. И потенциальные запасы нефти в мире ограничены. Возврат к углю представляется неизбежным. При этом следует учесть и то, что запасы нефти и угля неравны. Угля хватит на сотни лет, а нефти всего на несколько десятков лет. Поэтому один из важнейших вопросов инновационного подхода к топливно-энергетическим ресурсам заключается в том, как лучше распорядиться углем.

Конечно, необходимость изменения структуры использования органических топлив в энергетике, с очевидной неизбежностью повышения доли угля, следует рассматривать в контексте целого ряда проблем. Так, нужно учитывать, что сегодня около 68 % электроэнергии в России вырабатывается на тепловых электростанциях, что ведутся поиски альтернативных источников энергии, что сжигание в больших объемах органического топлива вызывает глобальные экологические проблемы, что органическое топливо служит ценным сырьем для химической промышленности и т. п.

## Структура генерирующих мощностей по видам топлива

Проценты, 2005 г.



ИСТОЧНИК: McKinsey

Рис. 2.3. Структура генерирующих мощностей Российской Федерации по видам топлива

Здесь уместно вспомнить, что в первые десятилетия XX в. химические продукты получали в основном из угля. В 20–30-е гг. в Германии, Англии, США, СССР проводились обширные научно-исследовательские и опытные работы в этом направлении. Они привели к созданию, в том числе и у нас в стране, промышленности для производства из угля моторных топлив и всевозможных химических продуктов. Однако после окончания Второй мировой войны эти методы были свернуты. Во времена нефтяного бума исследования по углю были почти прекращены, заводы, производящие эрзац-бензины, демонтированы.

Анализ изменений роли угля в энергетике дает возможность увидеть аналогии в изменениях взглядов на источники электрической энергии и в изменениях самой практики получения электроэнергии. Так, до 60-х гг. XIX в. основным источником электричества были электрохимические устройства. Для развития электрохимии много сделал великий английский физик М. Фарадей (1791–1867). (Достаточно назвать открытые им законы электролиза.). Но он же в 1831 г. открыл принцип электромагнитной индукции. А это привело к созданию электрических генераторов, вытеснивших электрохимические устройства как основные источники электрической энергии.

В настоящее время доля электроэнергии, вырабатываемой в России на тепловых электростанциях (ТЭС), остается преобладающей, и составила в 2009 г. около 68 %. К 2020 г. она незначительно снизится до 62,2 % за счет увеличения главным образом выработки электроэнергии атомными электростанциями (АЭС), доля которых в общем производстве электроэнергии составит в 2020 г. 16,6 % (доля АЭС в 2009 г. была 11,5 %).

Распределение генерирующих мощностей по видам топлива в различных регионах РФ показано на рис. 2.3, представленном в независимом исследовании «Энергоэффективная Россия. Пути снижения энергоемкости и выбросов парниковых газов», выполненном осенью 2009 г. специалистами компании McKinsey [11].

Большинство действующих в нашей стране ТЭС создавались во времена, когда считалось, что запасы топлива на Земле практически неисчерпаемы. Не имело особого значения, сколько его будет потрачено, лишь бы получить электроэнергию. Что и было достигнуто с высокой для тогдашнего периода степенью совершенства.

Система превращения топлива в электрическую энергию на ТЭС многоступенчатая (рис. 2.4). Тепло сгорающего топлива нагревает воду в котле (парогенераторе), вода превращается в пар высокого



давления, пар приводит во вращение турбину, которая, в свою очередь, крутит ротор электрического генератора, вырабатывающего вследствие этого электрический ток. На каждой ступени часть энергии, которую содержит топливо, теряется, вследствие чего средний КПД в России составляет 33 % для угольных и 36 % для газовых ТЭС. Для сравнения: КПД угольных электростанций, использующих высокоэффективные технологии, составляет 45 %, а КПД современных парогазовых электростанций – 58 % [11].

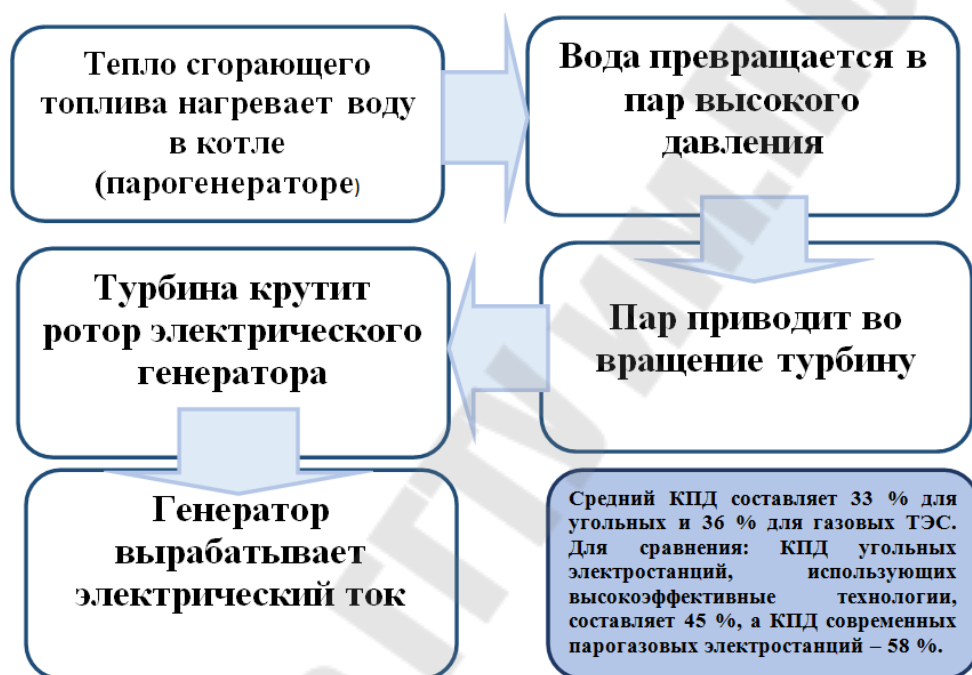


Рис. 2.4. Схема превращения топлива в электрическую энергию на ТЭС

Увеличение доли производства электроэнергии атомными электростанциями в принципе не приведет к заметному повышению КПД и кардинальному снижению расходов на производство электроэнергии. Дело в том, что нынешние атомные и даже будущие термоядерные электростанции, по существу, тоже являются электростанциями тепловыми. Только в них топка парового котла (источник тепла) заменена ядерным или термоядерным реактором. Это означает, что все недостатки, присущие паротурбинному способу преобразования тепла в электроэнергию, останутся и в АЭС. Конечно, при этом некоторые недостатки, присущие ТЭС (например, выбросы золы и вредных газов в атмосферу), устраняются, но появляются новые, которые особенно отчетливо высветила Чернобыльская катастрофа (проблема ра-



диации, защита АЭС от террористических актов и т. п.). Таким образом, на сегодняшний день проблема отъема тепла из ядерного реактора в АЭС все еще решается громоздкими, технически несовершенными средствами. По этому поводу в свое время выразительно высказался известный популяризатор науки профессор А. И. Китайгородский: «Пусть простят меня технологи, – пишет он, – но сегодняшняя атомная электростанция напоминает мне телегу, которую движет великолепный восьмицилиндровый двигатель» [12].

Отсюда закономерен вопрос: насколько вообще совершенны тепловые машины и можно ли ожидать инновационного прорыва в их использовании, имея в виду необходимость заметного повышения КПД? Так, КПД паровых машин в XIX в. составлял 5–7 %. Современные инновационные энергоблоки, работающие по парогазовому циклу, имеют максимальное значение электрического КПД 59 %. Конечно, если утилизировать бросовое тепло ТЭС (работа по теплофикационному циклу), то КПД можно повысить и до 90 %. Но далеко не всегда удастся использовать весь объем возможного для утилизации тепла, учитывая, что передавать тепло на большие расстояния без недопустимо больших потерь невозможно. Невостребованные в радиусе нескольких десятков километров от ТЭС излишки тепла приходится сбрасывать в окружающую среду.

В целом максимальное значение КПД любой реальной тепловой машины не может превышать значения КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно. Никола Карно (1796–1832), талантливый французский инженер и физик, один из основателей термодинамики, в своем труде «Размышление о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» (1824 г.) впервые показал, что тепловые двигатели могут совершать работу лишь в процессе перехода теплоты от горячего тела к холодному. Карно придумал идеальную тепловую машину, вычислил КПД идеальной машины и доказал, что этот коэффициент является максимально возможным для любого реального теплового двигателя.

Суть работы Карно можно выразить в одной-единственной формуле

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad (2.1)$$

где  $\eta$  – максимальный КПД (идеальный, выше этой величины уже невозможно подняться!) паровой (тепловой) машины;  $T_1$  и  $T_2$  – мак-

симальная и минимальная температуры тепловой машины: температура самой горячей ее точки (пар, нагретый газ) и самой холодной – соответственно на входе в машину и на выходе из нее.

Из формулы видно, что все тепло удалось бы превратить в работу, если бы можно было получать на выходе из машины продукты, охлажденные до абсолютного нуля, то есть иметь  $T_2 = 0$ . Но минимум температуры задается окружающей нас средой: пусть это будет 20 °С, или 293 °К. Отсюда следует: принципиально нельзя построить тепловую машину, в которой все тепло превращалось бы в работу. Но повысить КПД можно, увеличивая  $T_1$ . При ее неограниченном увеличении, очевидно, КПД машин будет стремиться к 100 %! В современных паротурбинных блоках тепловых и атомных электростанций температура водяного пара не превышает 600 °С, или 873 К. Дело в том, что при температуре пара около 600 °С и давлениях несколько сот атмосфер паропроводящая труба будет нагреваться до свечения. Тут не годится даже металл, идущий на двигатели реактивных самолетов и ракет. В этих двигателях он работает при температуре около тысячи градусов всего лишь 100–200 часов, а в турбинах и котлах электростанций он должен выдерживать 600–700 °С уже 100 тыс и более часов. Отсюда получается, что идеальный КПД для этих установок равен:

$$\eta = 1 - \frac{293}{873} = 0,66 \text{ (66 \%)}.$$
 (2.2)

Но это максимально возможная величина КПД для идеальной тепловой машины. Реальные цифры будут значительно ниже. Их нужно анализировать, используя не цикл Карно, а цикл Ренкина. За два с лишним века использования тепловых машин изобретатели выжили почти все возможности повышения эффективности их работы. Для прорыва к более высокой эффективности нужны принципиально новые способы преобразования тепловой энергии в электрическую.

В этом плане перспективными выглядят работы по созданию магнетогидродинамических генераторов (МГД-генераторов). У них поток горячей плазмы нагрет до 2500–3000 °С. Температура  $T_1$  в формуле Карно (2.1) резко возрастает. Но одновременно в этих устройствах растет и температура  $T_2$ : плазма на выходе из МГД-генератора все еще остается очень горячей (тысячи градусов). Поэтому МГД-генераторы могут эффективно работать лишь в сочетании с обычной паротурбинной установкой. И суммарный выигрыш в КПД оказыва-

ется не таким уж большим. Но в перспективе считается возможным получить в установках с МГД-генераторами КПД 60 %. Эта величина выглядит высокой относительно достигнутых на современных ТЭС значений КПД. Тем не менее 40 % потерь энергии в МГД-генераторах – величина тоже немалая. Ограничения Карно, определяемые формулой (2.1), не позволяют существенно уменьшить величину этих потерь. Решение проблемы уменьшения потерь энергии на порядок нужно искать за пределами ее тепловых преобразований.

Рассмотрим устройства, способные преобразовывать химическую энергию органического топлива непосредственно в электрический ток. Для них ограничения Карно не действуют, и при их разработке можно стремиться приблизить КПД к 100 %. Это – топливные элементы. Они пока не нашли широкого применения, но уже успели пройти долгий путь совершенствования. Топливные элементы вполне могут стать конкурентами традиционной энергетике. В настоящее время такие электрохимические устройства, как топливные элементы, рассматриваются в качестве перспективных источников электроэнергии, которые, возможно, способны потеснить или даже вытеснить в будущем традиционные электрические генераторы на электростанциях, а также заменить двигатели внутреннего сгорания на автомобилях. Сейчас топливные элементы представляются лучшим инструментом для сжигания водорода в новой (инновационной) водородной энергетике.

Схемы преобразования топлива даны на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Схемы преобразования топлива

В 1839 г. в январском номере «Философского журнала» английский электрохимик, адвокат по профессии Уильям Гроув (1811–1896) (рис. 2.6), описал опыт: стрелка гальванометра отклонялась, когда его соединяли с двумя платиновыми полосками, погруженными наполовину в сосуд с разбавленной серной кислотой; одна полоска обдувалась водородом, другая – кислородом. Так был создан первый топливный элемент – водородно-кислородный. Открытие было сделано случайно, поскольку первоначальной целью Гроува было произвести разложение воды (точнее, раствора серной кислоты) на водород и кислород.

Тот факт, что процесс может идти и в обратную сторону с образованием электрического тока, Гров посчитал явлением побочным и сообщил об этом в постскрипуме к статье, как бы между прочим. Гроув и его современники не сразу осознали, что в науке произошло событие значительное.

Электрохимические элементы (батареи), генерирующие ток, были известны и до этого.

Например, в 1802 г. русский академик В. В. Петров изготовил батарею из 8400 элементов. Но в них сжигались довольно дорогие металлы: цинк, свинец, никель. Конечно, дешевле было бы электрохимически жечь водород, лучше – натуральный газ, еще лучше – уголь.

Именно эту возможность, казалось бы, и предоставлял элемент, предложенный Гроувом. В нем топливо (водород) сжигалось (соединялось с кислородом) до конечного продукта – воды. Впервые человек получил при сжигании обычного топлива не тепло, а сразу электрический ток. Однако слишком ничтожны были снимаемые с элемента токи. Поэтому опыты Гроува не произвели тогда на ученых серьезного впечатления.

Наблюдавшееся явление выглядело лабораторным курьезом, не имеющим перспективы практического применения.

В 1839 г. Уильям Гриве (Гроув) (1811–1896) описал первый топливный элемент. Четыре топливных элемента соединены последовательно, а электричество, получаемое при окислении водорода, опять используется для электролиза воды

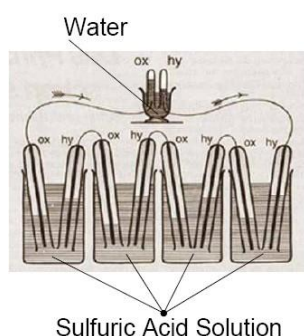


Рис. 2.6. Английский электрохимик, адвокат по профессии Уильям Гроув

В 1893 г. немецкий физик и химик Вальтер Нернст (1864–1941) вывел теоретическую формулу (уравнение Нернста, связывающее окислительно-восстановительный потенциал системы с активностями веществ, входящих в электрохимическое уравнение, и стандартными потенциалами окислительно-восстановительных пар), с помощью которой можно определить величину электродвижущей силы электрохимического элемента. В том же 1893 г. Нернст рассчитал величину электродвижущей силы гальванического элемента и то количество электрической энергии, которое получается при электрохимическом соединении угля с кислородом. Нернст показал, что если бы удалось превратить химическую энергию угля в электричество электрохимическим путем (т. е. в топливных элементах!), то максимальный теоретический КПД такого процесса составил бы 99,75 %! Этот поразительный результат показывает первое из многих достоинств топливных элементов: в них, в отличие от паровой и прочих тепловых машин, энергия практически не теряется.

Зависимость КПД производства электроэнергии от мощности для энергоустановок различных типов показана на рис. 2.7.

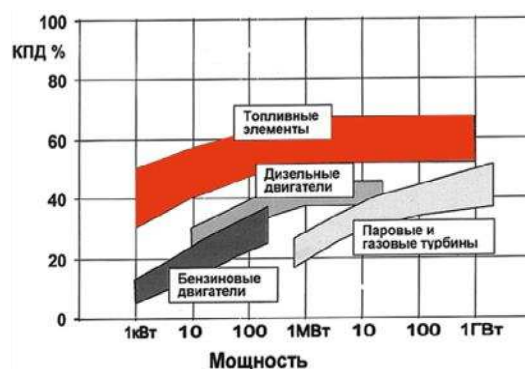


Рис. 2.7. Зависимость КПД производства электроэнергии от мощности для энергоустановок различных типов

В книге [12] объяснено, что очень схоже решается энергетическая проблема и в живой природе (рис. 2.8). Здесь также, минуя малоэффективную тепловую стадию, с очень высоким КПД и в поразительно мягких условиях (комнатная температура, нормальное давление, водная среда) химическая энергия может быть преобразована в механическую энергию (мышцы, сердце, жгутики бактерий), осмотическую работу (секреция желез, всасывание в кишечнике), электричество (нервные клетки, электрические органы некоторых рыб), свечение (светлячки, светящиеся органы глубоководных рыб), образование тепла (у всех теплокровных от мышей до человека) и т. д.



Рис. 2.8. Энергетическая проблема живой природы



Но важно отметить то, что все эти превращения содержат в качестве обязательного звена «холодное» горение водорода с кислородом. Биохимики установили: биологический водородно-кислородный топливный элемент как бы вмонтирован, впечатан в каждую живую клетку. Водород, соединяясь с кислородом в процессе «холодного» горения, и составляет основу биоэнергетики организма. А образующийся в этой реакции электрон запускает все идущие в живом организме процессы (рис. 2.9).

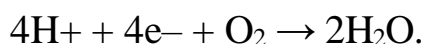
Хотя и аккумуляторные батареи, и топливные элементы вырабатывают электричество химическим путем, между ними имеется принципиальное различие. Батареи – устройства с накопленной энергией: электричество, которое они вырабатывают, есть результат химической реакции вещества, которое заложено в них при изготовлении. Топливные элементы не хранят энергию в заложенном внутри веществе, а преобразуют часть энергии топлива, поставляемого извне, в электричество. В этом отношении топливный элемент скорее похож на обычную электростанцию.

Простейший современный топливный элемент состоит из специальной мембраны, используемой как электролит, по обе стороны которой нанесены порошкообразные электроды. Водород поступает на одну сторону (анод), а кислород (воздух) – на другую (катод). На каждом электроде происходят разные химические реакции. На аноде водород распадается на смесь протонов и электронов. В некоторых топливных элементах электроды окружены катализатором, обычно выполненным из платины или других благородных металлов, способствующих протеканию реакции диссоциации:

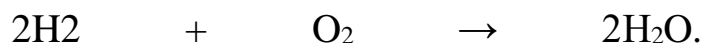


где  $\text{H}_2$  – двухатомная молекула водорода (форма, в которой водород присутствует в виде газа);  $\text{H}^+$  – ионизированный водород (протон);  $e^-$  – электрон.

С катодной стороны топливного элемента протоны (прошедшие через электролит) и электроны (которые прошли через внешнюю нагрузку) воссоединяются и вступают в реакцию с подаваемым на катод кислородом с образованием воды



Суммарная реакция в топливном элементе записывается так:



Работа топливного элемента основана на том, что электролит пропускает через себя протоны (по направлению к катоду), а электроны – нет. Электроны движутся к катоду по внешнему проводящему контуру. Это движение электронов и есть электрический ток, который может быть использован для приведения в действие внешнего устройства, подсоединенного к топливному элементу. В топливном элементе с кислым электролитом (рис. 2.10) водород подается через порый анод и поступает в электролит через очень мелкие поры в материале электрода. При этом происходит разложение молекул водорода на атомы, которые в результате хемосорбции, отдавая каждый по одному электрону, превращаются в положительно заряженные ионы.

Для работы топливных элементов необходимо водородное топливо и кислород. Кислород забирается из воздуха. Водород может подаваться непосредственно из некой емкости или путем выделения его из внешнего источника топлива (природного газа, бензина или метилового спирта – метанола). В случае внешнего источника его необходимо химически преобразовать, чтобы извлечь водород. В настоящее время большинство технологий топливных элементов, разрабатываемых для портативных устройств, задействуют именно метанол.

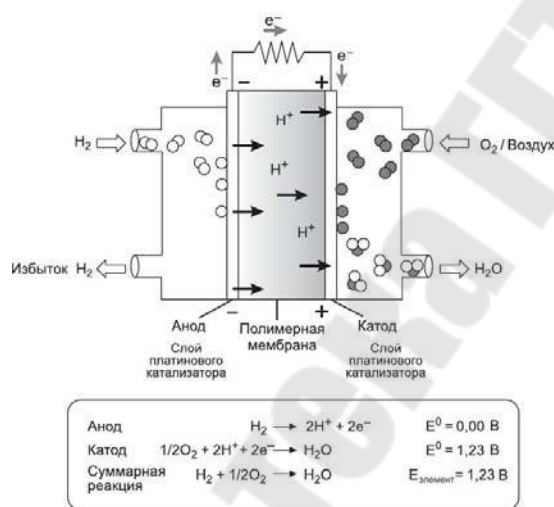


Рис. 2.9. Принцип действия водородно-кислородного топливного элемента

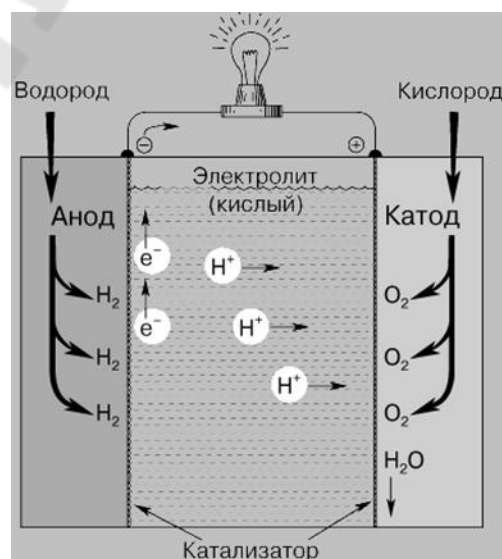


Рис. 2.10. Топливный элемент с кислым электролитом

В XIX в. шла конкурентная борьба между различными способами получения электричества, использование которого в промышленности и быту обещало переход на новую ступень развития челове-



ского общества. По поводу источника энергии мнения не расходились: им должен был быть дешевый уголь. Но извлекать из угля химическую энергию можно было различными способами. В зависимости от этих способов энергетика могла пойти двумя путями. Первый путь – использование только что рассмотренных топливных элементов. Второй путь, в отличие от первого, многоступенчатый (он успешно практикуется и в настоящее время). Это путь прямого сжигания топлива, то, что сейчас осуществляется на тепловых электростанциях и в двигателях внутреннего сгорания сотен миллионов автомобилей.

Исторически сложилось так, что энергетика пошла по второму пути. Этому способствовали две основные причины: создание электрических генераторов (в 1872 г. немецкий электротехник Ф. фон Хефнер-Альтенек (1845–1904), ведущий конструктор и главный инженер фирмы «Сименс и Гальске», сконструировал первый эффективно действующий генератор постоянного тока) и изобретение двигателя внутреннего сгорания в 1860 г. (бельгийский инженер Жан Этьен Ленуар (1822–1900)). Усилия ученых и инженеров стали направлены на развитие именно этих способов обеспечения потребностей промышленности, транспорта, быта в энергии, поскольку от них была возможность быстро получить практическую отдачу. Топливными элементами продолжали заниматься отдельные исследователи.

Анализ показывает, что сторонники разработки топливных элементов, пытавшиеся практически решить задачу их создания в XIX в., опередили свое время. Тогда не было еще ни теоретических, ни экспериментальных, ни технологических средств решения этой большой задачи. Недоставало многого: детальных знаний по катализу (сегодня они есть благодаря развитию химической промышленности), современных материалов (металлов, пластмасс), недоставало знания квантовой теории (ее разработка была начата Планком в десятые годы XX в.) и так далее. Какими бы гениальными ни были изобретатели XIX в., они не могли справиться с проблемой, стоящей на стыке нескольких областей знания и требующей организации совместной работы ученых разных специальностей – электрохимиков, физиков, математиков, специалистов по электронике, пластмассам, химической технологии, электротехнике. Объединению большого количества самых разных специалистов для решения крупной стратегической задачи научились позже, при работе над атомными и космическими проектами.

Тем не менее можно предположить, что сегодняшняя энергетика могла бы выглядеть по-другому, если бы на рубеже XIX и XX вв. двигатели внутреннего сгорания и электромашинные способы получения электроэнергии не получили столь стремительного развития. Возможно, уже давно бы автомобильный транспорт работал на бесшумных, экономичных, не загрязняющих атмосферу двигателях в виде топливных элементов и гигантские тепловые электростанции не загрязняли бы окружающую среду. В настоящее время в условиях стремительного роста достижений науки и техники, в том числе при формировании системы знаний о возможностях управления самим научно-техническим прогрессом, инновационное развитие энергетики не должно быть хаотичным. основные законодательные и нормативные документы, обеспечивающие инновационное развитие энергетики.

## Литература

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 17 нояб. 2008 г. № 1662-р.
2. Федоров, О. В. Аспекты инновационной деятельности : монография / О. В. Федоров. – М. : ИНФРА-М, 2010.
3. Попель, О. С. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии / О. С. Попель // Энергосбережение. – 2006. – № 3. – С. 70–75.
4. RAND Corporation. – URL: [http://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1357.0/](http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1357.0/).
5. Прогнозный баланс развития электроэнергетики на период 2009–2015 гг. и на 2020 г. : отчет. – М. : Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике, 2009.
6. Алексеев, Г. Н. Энергия и энтропия / Г. Н. Алексеев. – М. : Знание, 1978.
7. Горностаева, А. В. Введение в специальность «управление инновациями» : учеб. пособие / А. В. Горностаева. – М. : ИНФРА-М, 2006.
8. The World Competitiveness Yearbook : отчет о мировой конкурентоспособности. – Междунар. ин-т развития упр. – URL: [www.imd.ch](http://www.imd.ch).
9. Водородная энергетика и топливные элементы. Взгляд в будущее : заключ. отчет эксперт. группы // Luxembourg: European Communities, 2003. – URL: [http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo_en.html).

10. Методические рекомендации по созданию в энергетических компаниях систем управления инновационной деятельностью / Офиц. изд. – М. : Ин-т комплексн. исслед. в энергетике (по заказу НП «ИНВЭЛ»), 2009.

11. Заддэ, В. В. Возобновляемые источники энергии для сельского дома / В. В. Заддэ // Энергия: экономика, техника, экология. – 2005. – № 7. – С. 42–50.

12. Пономарев-Степной, Н. Н. Атомно-водородная энергетика - пути развития / Н. Н. Пономарев-Степной, А. Я. Столяревский // Энергия. – 2004. – № 1. – С. 3–9.

13. Наумейко, А. В. Энергоэффективные системы отопления : учеб. пособие / А. В. Наумейко, П. В. Кузнецов, Ю. И. Толстова, Р. Н. Шумилов. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2003.

## **Глава 3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ И НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. РОССИЙСКИЙ И БЕЛОРУССКИЙ ОПЫТ**

**3.1. Характеристика документов, регламентирующих научно-техническую и инновационную деятельность в Республике Беларусь. 3.2. Переход к V и VI технологическим укладам. 3.3. Характеристика документов, обеспечивающих инновационное развитие энергетики России. 3.4. Концепции, программы и комплексные планы энергетического комплекса Республики Беларусь.**

### **3.1. Характеристика документов, регламентирующих научно-техническую и инновационную деятельность в Республике Беларусь**

*Переход страны к инновационной экономике в настоящее время признан одним из важнейших направлений государственной политики, как в Российской Федерации, так и в Республике Беларусь.*

Президенты наших стран и Правительства предпринимают решительные и действенные меры к созданию условий для формирования предпринимательской среды, для развития рыночных институтов, обеспечивающих конкурентоспособность экономик, значительное повышение инновационной активности и восприимчивости предприятий к передовым технологиям.

Основными законодательными актами, регламентирующими инновационную и научную деятельность в Республике Беларусь, являются [1–4]:

- *Закон Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 425-3 (в ред. от 11.05.2016 г. № 364-3) «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь»;*
- *Указ Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы»;*

- Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы»;
- Закон Республики Беларусь от 19 января 1993 г. № 2105-XII «Об основах государственной научно-технической политики».

## **Закон Республики Беларусь «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь»**

**Государственная инновационная политика** – составная часть государственной социально-экономической политики, представляющая собой комплекс осуществляемых государством организационных, экономических и правовых мер, направленных на регулирование инновационной деятельности.

**Инновационная деятельность** – деятельность по преобразованию новшества в инновацию.

**Инновационная инфраструктура** – совокупность субъектов инновационной инфраструктуры, осуществляющих материально-техническое, финансовое, организационно-методическое, информационное, консультационное и иное обеспечение инновационной деятельности.

**Инновационный проект** – комплекс работ, направленных на преобразование новшества в инновацию.

**Инновация** – введенные в гражданский оборот или используемые для собственных нужд новая или усовершенствованная продукция, новая или усовершенствованная технология, новая услуга, новое организационно-техническое решение производственного, административного, коммерческого или иного характера.

**Национальная инновационная система** – совокупность взаимосвязанных законодательных, структурных и функциональных компонентов, необходимых для осуществления инновационной деятельности, ее развития и поддержки.

**Новшество** – результат интеллектуальной деятельности (новое знание, техническое или иное решение, экспериментальный или опытный образец и др.), обладающий признаками новизны по сравнению с существующими аналогами для определенного сегмента рынка, практической применимости, способный принести положительный экономический или иной полезный эффект при создании на его основе новой или усовершенствованной продукции, новой или усовер-

шенствованной технологии, новой услуги, нового организационно-технического решения.

Правовое регулирование отношений в сфере государственной политики и инновационной деятельности основывается на Конституции Республики Беларусь и состоит из настоящего Закона и иных актов законодательства.

*Цель и основные задачи государственной инновационной политики*

Целью государственной инновационной политики в Республике Беларусь является создание благоприятных социально-экономических, организационных и правовых условий для инновационного развития и повышения конкурентоспособности национальной экономики.

Основными задачами государственной инновационной политики являются:

- обеспечение экономического и социального развития Республики Беларусь за счет эффективного использования интеллектуальных ресурсов общества;
- обеспечение правового регулирования, стимулирующего инновационное развитие национальной экономики;
- формирование и комплексное развитие национальной инновационной системы, обеспечение ее интеграции в мировую инновационную систему с учетом национальных интересов;
- создание благоприятных условий для осуществления инновационной деятельности, в том числе для вложения инвестиций в данную сферу;
- стимулирование создания и развития юридических лиц, осуществляющих инновационную деятельность, а также стимулирование деятельности индивидуальных предпринимателей в инновационной сфере;
- содействие созданию и развитию рынка инноваций;
- создание благоприятных условий для доступа субъектов инновационной деятельности к материальным, финансовым и интеллектуальным ресурсам, необходимым для осуществления инновационной деятельности;
- содействие созданию и развитию инновационной инфраструктуры;
- развитие государственно-частного партнерства в сфере инновационной деятельности;
- создание и развитие системы технологического прогнозирования;
- организация подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров в сфере инновационной деятельности;

- развитие международного сотрудничества в сфере инновационной деятельности;
- обеспечение государственных интересов (обороны и национальной безопасности) в сфере инновационной деятельности;
- содействие обеспечению цифровой трансформации национальной экономики;
- инновационное развитие традиционных секторов национальной экономики;
- формирование и ускоренное развитие высокотехнологичных секторов национальной экономики.

#### *Основные принципы государственной инновационной политики*

Государственная инновационная политика формируется и осуществляется исходя из следующих основных принципов:

- свободы научного и технического творчества;
- охраны и защиты интеллектуальной собственности;
- направленности инновационной деятельности на достижение приоритетов социально-экономического развития Республики Беларусь;
- обеспечения эффективного взаимодействия компонентов национальной инновационной системы;
- оптимального сочетания форм и методов государственного регулирования с использованием рыночных механизмов развития инновационной деятельности;
- стимулирования инновационной деятельности;
- экономической эффективности и результативности государственной поддержки субъектов инновационной деятельности, субъектов инновационной инфраструктуры;
- выделения бюджетных средств на конкурсной основе для реализации инновационных проектов и мероприятий государственной программы инновационного развития Республики Беларусь по развитию инновационной инфраструктуры.

Государственная инновационная политика формируется в соответствии с приоритетными направлениями научной, научно-технической и инновационной деятельности, определяемыми в порядке, установленном Президентом Республики Беларусь.

**Национальная инновационная система.** Компонентами национальной инновационной системы являются:

- республиканские органы государственного управления, иные государственные организации, подчиненные Совету Министров Республики Беларусь, Национальная академия наук Беларуси, другие го-

сударственные органы (организации), подчиненные (подотчетные) Президенту Республики Беларусь, местные Советы депутатов и местные исполнительные и распорядительные органы областного территориального уровня, регулирующие в пределах своей компетенции отношения в сфере инновационной деятельности;

- субъекты инновационной деятельности;
- инновационная инфраструктура;
- учреждения образования, обеспечивающие подготовку, переподготовку и повышение квалификации кадров в сфере инновационной деятельности;
- юридические и физические лица, в том числе индивидуальные предприниматели, осуществляющие финансирование инновационной деятельности;
- иные юридические и физические лица, в том числе индивидуальные предприниматели, осуществляющие и (или) обеспечивающие инновационную деятельность;
- законодательство о государственной инновационной политике и инновационной деятельности;
- система научно-технической информации;
- система технологического прогнозирования;
- единая система государственной научной и государственной научно-технической экспертиз.

Комплексное развитие национальной инновационной системы осуществляется на основании программы социально-экономического развития Республики Беларусь, государственной программы инновационного развития Республики Беларусь и других государственных программ, Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь, комплексного прогноза научно-технического прогресса Республики Беларусь.

### ***Инновационная деятельность и ее содержание***

Инновационная деятельность может включать в себя:

- выполнение научно-исследовательских работ, необходимых для преобразования новшества в инновацию;
- разработку новой или усовершенствованной продукции, новой или усовершенствованной технологии, создание новых услуг, новых организационно-технических решений;
- выполнение работ по подготовке и освоению производства новой или усовершенствованной продукции, освоению новой или



усовершенствованной технологии, подготовке применения новых организационно-технических решений;

- производство новой или усовершенствованной продукции, производство продукции на основе новой или усовершенствованной технологии;

- введение в гражданский оборот или использование для собственных нужд новой или усовершенствованной продукции, новой или усовершенствованной технологии, новых услуг, новых организационно-технических решений;

- иную деятельность, направленную на преобразование новшества в инновацию.

Риск инновационной деятельности и его оценка. При осуществлении инновационной деятельности, учитывая риск инновационной деятельности, обусловленный неопределенностью технологических и рыночных перспектив применения новшеств, используются следующие принципы:

- распределение риска инновационной деятельности между субъектами инновационной деятельности, инвесторами, субъектами инновационной инфраструктуры, государством и другими участниками инновационной деятельности;

- диверсификация (одновременное распределение денежных средств между различными, не связанными друг с другом, инновационными проектами), осуществляемая в целях снижения риска инновационной деятельности;

- свобода субъектов инновационной деятельности в выборе методики оценки риска инновационной деятельности;

- возможность использования страхования при выполнении инновационных проектов.

Оценка риска инновационной деятельности осуществляется в целях принятия мер по его минимизации, а также принятия обоснованного решения о целесообразности финансирования инновационного проекта.

При оценке риска инновационной деятельности упущенная выгода не учитывается.

Технопарк. Направлениями деятельности технопарка являются:

- оказание поддержки резидентам технопарка;
- содействие в создании и развитии на его базе субъектов малого предпринимательства в сфере инновационной деятельности с приобретением ими статуса резидента технопарка и осуществление материально-технического, финансового, организационно-методического, ин-

формационного, консультационного и иного обеспечения их деятельности;

- осуществление научной, научно-технической и инновационной деятельности;

- осуществление иной деятельности в соответствии с законодательством.

Оказание поддержки резидентам технопарка является обязательным направлением деятельности технопарка и может осуществляться путем:

- содействия в создании производств по выпуску новой или усовершенствованной продукции, освоении новой или усовершенствованной технологии для их реализации на рынке;

- проведения работ, связанных с изготовлением и испытаниями опытного образца, иных опытно-конструкторских работ;

- оказания инженерно-консультационных и проектных услуг (инжиниринговых услуг);

- проведения работ по оценке соответствия техническим требованиям в случае, если технопарк имеет аккредитацию органа по оценке соответствия техническим требованиям, полученную в соответствии с законодательством об оценке соответствия техническим требованиям и аккредитации органов по оценке соответствия;

- предоставления на договорной основе в соответствии с законодательством движимого и (или) недвижимого имущества, в том числе комплекса программно-технических средств, информационных систем, информационных сетей;

- оказания услуг по подготовке бизнес-планов инновационных проектов и управлению инновационными проектами;

- оказания услуг по получению правовой охраны объектов права промышленной собственности в Республике Беларусь и за рубежом;

- оказания услуг по организации и проведению оценки стоимости объектов интеллектуальной собственности в составе нематериальных активов;

- организации и проведения маркетинговых исследований;

- содействия в осуществлении внешнеэкономической деятельности в целях продвижения инноваций на внешний рынок;

- содействия в привлечении инвестиций, поиске инвесторов и (или) деловых партнеров;

- информационного продвижения новшеств и (или) продукции, технологий, услуг, организационно-технических решений, созданных на основе новшеств, посредством организации участия резидентов

технопарк в проведении выставок, ярмарок, конференций и других мероприятий, изготовления рекламно-информационной продукции;

- оказания услуг по организации и (или) совершенствованию производственных процессов;

- привлечения в технопарк субъектов сервисного обслуживания.

Под субъектом сервисного обслуживания понимаются юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, оказывающие услуги технопарку (его резидентам) и использующие на договорной основе в соответствии с законодательством недвижимое имущество технопарка;

- осуществления иной деятельности, не запрещенной законодательством.

Отношения технопарка с резидентами технопарка строятся на основании заключаемых между ними договоров на осуществление инновационной деятельности.

Основные направления государственной инновационной политики на 2021–2025 гг. определяются в соответствии с задачами Государственной программы.

Решение задачи по формированию лучших в регионе Восточной Европы условий осуществления и стимулирования научно технической и инновационной деятельности на основе имплементации передовых мировых практик предполагает:

- концентрацию государственной поддержки на приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг.;

- ускоренное развитие в республике изобретательства, рационализаторства и инженерно-технического творчества;

- развитие национальной системы интеллектуальной собственности;

- ускоренное развитие инфраструктуры в сферах научной, научно-технической и инновационной деятельности;

- формирование комплексной системы преференциальных режимов, налоговых льгот и механизмов финансирования, охватывающей все этапы инновационного цикла;

- повышение роли и престижа «креативного класса» (ученых, разработчиков, изобретателей, рационализаторов, предпринимателей-инноваторов) в качестве ключевого субъекта инновационного и социально-экономического развития страны.

Решение задачи по обеспечению инновационного развития традиционных отраслей национальной экономики на уровне Европей-

ского союза на основе повышения наукоемкости производства предполагает:

- формирование технологического базиса для инновационного развития традиционных секторов национальной экономики на основе заданий научно-технических программ и инновационных проектов, соответствующих высокотехнологичным производствам, основанным на V и VI технологических укладах, в том числе с использованием национальных разработок;

- цифровую трансформацию традиционных секторов национальной экономики.

Решение задачи по созданию новых и ускорению развития существующих наукоемких и высокотехнологичных секторов экономики предполагает:

- организацию разработки и реализации комплексных проектов, прежде всего на основе коммерциализации отечественных разработок;

- развитие инновационного предпринимательства в высокотехнологичных отраслях;

- сбалансированное развитие высокотехнологичных секторов во всех регионах Республики Беларусь.

Решение задачи по расширению присутствия и закреплению позиций Республики Беларусь на мировых рынках наукоемкой и высокотехнологичной продукции предполагает:

- развитие взаимовыгодного международного научно-технического и инновационного сотрудничества с привлечением в экономику страны технологий мирового уровня и иностранных инвестиций в научную, научно-техническую и инновационную сферы;

- диверсификацию номенклатуры и географической структуры экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции.

***Указ Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы»***

В рамках Государственной программы стратегия инновационной политики на 2021–2025 гг. будет заключаться в выполнении исполнителями всех форм собственности инновационных проектов, соответствующих приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг., с оптимальным сочетанием развития собственного научно-технологического потенциала, продвижения отечественных технологий на мировой рынок и трансфера новых зарубежных технологий.

*Целью Государственной программы является достижение Республикой Беларусь уровня инновационного развития стран – лидеров в регионе Восточной Европы на основе реализации интеллектуального потенциала белорусской нации.*

*Для достижения поставленной цели предполагается решение следующих основных задач:*

*– формирование лучших в регионе Восточной Европы условий осуществления и стимулирования научно-технической и инновационной деятельности на основе имплементации передовых мировых практик;*

*– обеспечение инновационного развития традиционных отраслей национальной экономики на уровне Европейского союза на основе повышения наукоемкости производства;*

*– создание новых и ускорение развития существующих наукоемких и высокотехнологичных секторов экономики;*

*– расширение присутствия и закрепление позиций Республики Беларусь на мировых рынках наукоемкой и высокотехнологичной продукции.*

*Основные усилия будут направлены на:*

*– стимулирование разработок технологий, товаров и услуг, соответствующих V и VI технологическим укладам, в том числе за счет приоритетного их финансирования, а также экспортоориентированных разработок;*

*– формирование полноценного рынка научно-технической и инновационной продукции, совершенствование институциональной среды, развитие и стимулирование инновационного предпринимательства;*

*– создание национальной системы технологического прогнозирования;*

*– создание и стимулирование развития опытно-внедренческих структур;*

*– развитие инновационной инфраструктуры;*

*– развитие национальной системы интеллектуальной собственности;*

*– стимулирование участия молодежи в сфере научно-технической и инновационной деятельности, формирование и развитие новых бизнес-моделей молодежной занятости в инновационной сфере, в том числе на поддержку молодежных стартапов;*

*– развитие системы научно-технической информации.*

*В рамках решения названных задач планируется достижение целевых показателей Государственной программы (табл. 3.1).*

Таблица 3.1

**Целевые показатели Государственной программы инновационного  
развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг.**

Наименование показателя	Единица измерени я	Значение показателя по годам				
		021	022	023	024	025
1. Удельный вес инновационно активных организаций в общем числе организаций обрабатывающей промышленности	%	9,8	9,9	0	0,2	0,5
2. Доля организаций, осуществляющих процессные инновации, в общем количестве инновационно активных организаций обрабатывающей промышленности	»	6,5	7,5	9,5	2	5
3. Удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции организаций обрабатывающей промышленности*	»	0	0,2	0,4	0,6	1
4. Доля отгруженной инновационной продукции новой или значительно улучшенной для внутреннего или мирового рынка в общем объеме отгруженной инновационной продукции организаций обрабатывающей промышленности	»	9	0	1	2	4
5. Доля экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции в общем объеме белорусского экспорта**	»	3,5	4	4,5	5	5,6
6. Количество созданных (модернизированных) рабочих мест***	ед.	437	098	832	309	324

Решение задачи по формированию лучших в регионе Восточной Европы условий осуществления и стимулирования научно-технической и инновационной деятельности на основе имплементации передовых мировых практик предполагает:

– концентрацию государственной поддержки на приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг.;

– ускоренное развитие в республике изобретательства, рационализаторства и инженерно-технического творчества;

- развитие национальной системы интеллектуальной собственности;
- ускоренное развитие инфраструктуры в сферах научной, научно-технической и инновационной деятельности;
- формирование комплексной системы преференциальных режимов, налоговых льгот и механизмов финансирования, охватывающей все этапы инновационного цикла;
- повышение роли и престижа «креативного класса» (ученых, разработчиков, изобретателей, рационализаторов, предпринимателей-инноваторов) в качестве ключевого субъекта инновационного и социально-экономического развития страны.

Решение задачи по обеспечению инновационного развития традиционных отраслей национальной экономики на уровне Европейского союза на основе повышения наукоемкости производства предполагает:

- формирование технологического базиса для инновационного развития традиционных секторов национальной экономики на основе заданий научно-технических программ и инновационных проектов, соответствующих высокотехнологичным производствам, основанным на V и VI технологических укладах, в том числе с использованием национальных разработок;
- цифровую трансформацию традиционных секторов национальной экономики.

Решение задачи по созданию новых и ускорению развития существующих наукоемких и высокотехнологичных секторов экономики предполагает:

- организацию разработки и реализации комплексных проектов, прежде всего на основе коммерциализации отечественных разработок;
- развитие инновационного предпринимательства в высокотехнологичных отраслях;
- сбалансированное развитие высокотехнологичных секторов во всех регионах Республики Беларусь.

Решение задачи по расширению присутствия и закреплению позиций Республики Беларусь на мировых рынках наукоемкой и высокотехнологичной продукции предполагает:

- развитие взаимовыгодного международного научно-технического и инновационного сотрудничества с привлечением в экономику страны технологий мирового уровня и иностранных инвестиций в научную, научно-техническую и инновационную сферы;
- диверсификацию номенклатуры и географической структуры экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции.



Приоритетной задачей государственной инновационной политики является повышение эффективности национальной инновационной системы как механизма взаимодействия между наукой и реальным сектором экономики.

Стратегической целью развития национальной инновационной системы является создание фундамента общества знаний и интеллектуальной экономики посредством осуществления ее научно-технологической трансформации с поэтапным переходом к высшим технологическим укладам.

Развитие национальной инновационной системы в 2021–2025 гг. будет осуществляться в соответствии с основными направлениями государственной инновационной политики, определенными Государственной программой.

Для концентрации государственной поддержки на приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг. необходимо обеспечить решение следующих задач:

- разработка и реализация инновационных проектов в соответствии с приоритетными направлениями научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг.;

- концентрация финансовых ресурсов на комплексных проектах.

*Для ускоренного развития в республике изобретательства, рационализаторства и инженерно-технического творчества необходимо обеспечить решение следующих задач:*

- формирование системы стимулирования изобретательства, рационализаторства и инженерно-технического творчества;

- совершенствование работы по обучению и популяризации изобретательства, рационализаторства и инженерно-технического творчества.

Механизмами их решения являются:

- совершенствование нормативной правовой базы в области изобретательства, рационализаторства и инженерно-технического творчества;

- развитие инфраструктуры поддержки малого инновационного предпринимательства, изобретательства, рационализаторства и инженерно-технического творчества на базе научно-технологических парков (далее – технопарки), Парка высоких технологий и иных организаций в данной сфере;

- повышение роли и статуса ОО «БОИР» и укрепление его материально-технической базы;

- организация и проведение обучающих мероприятий по эффективным методикам инженерно-технического творчества, в том числе по теории решения изобретательских задач;

- включение в образовательные программы учреждений образования информации, направленной на формирование знаний, умений и навыков в области изобретательства и рационализаторства;

- развитие Национального детского технопарка и сети центров технического творчества детей и молодежи, укрепление их материально-технической и кадровой базы;

- мониторинг состояния системы изобретательства и рационализаторства.

*Для ускоренного развития инфраструктуры в сферах научной, научно-технической и инновационной деятельности необходимо обеспечить решение следующих задач:*

- развитие инфраструктуры для осуществления научных исследований и разработок в соответствии с приоритетными направлениями научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг., с учетом положений Государственной программы, результатов Комплексного прогноза научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г.;

- развитие технопарков в области оказания содействия в создании на их базе субъектов малого предпринимательства в инновационной сфере и осуществление материально-технического, финансового, организационно-методического, информационного, консультационного и иного обеспечения деятельности этих субъектов.

Механизмами их решения являются:

- развитие сети отраслевых лабораторий и центров коллективного пользования оборудованием в целях обеспечения разработки, промышленной апробации и внедрения отечественных технологий в отраслях реального сектора экономики;

- создание и организация деятельности технопарков (их филиалов) в крупных районных центрах;

- формирование и развитие в технопарках технологической инфраструктуры для оказания соответствующих услуг резидентам (центры прототипирования и промышленного дизайна, центры коллективного пользования оборудованием, инжиниринговые центры, лабораторные комплексы, коворкинг-центры и другое);

- обеспечение привлечения внебюджетных источников финансирования развития субъектов инновационной инфраструктуры;

– организация реализации в технопарках образовательных программ дополнительного образования взрослых по вопросам инновационной деятельности;

– создание и организация эффективного использования целевых фондов инновационного развития технопарков;

– расширение практики предоставления инновационных ваучеров и грантов;

– формирование технопарками спектра услуг, оказываемых на основе широкого применения информационно-коммуникационных технологий и передовых производственных технологий и обеспечивающих реализацию инновационного цикла в полном объеме (от идеи до выхода продукции на рынки);

– создание и организация деятельности ассоциации развития инновационной инфраструктуры и инновационного предпринимательства.

*Для повышения роли и престижа «креативного класса» (ученых, разработчиков, изобретателей, рационализаторов, предпринимателей-инноваторов) в качестве ключевого субъекта инновационного и социально-экономического развития страны необходимо обеспечить решение следующих задач:*

– развитие в учреждениях образования системы вовлечения молодежи в инновационное предпринимательство;

– повышение роли общественных объединений предпринимателей, субъектов инновационной инфраструктуры, молодежных общественных объединений в выработке и реализации инновационной политики;

– стимулирование успешного завершения послевузовского образования с защитой диссертации и присвоением соответствующей ученой степени.

*Важнейшими механизмами их решения являются:*

– расширение подготовки специалистов инженерного профиля и научных работников высшей квалификации по приоритетным специальностям, обеспечивающим развитие высокотехнологичных производств, относящихся к V и VI технологическим укладам;

– совершенствование деятельности учреждений высшего образования на основе модели «Университет 3.0» (интеграция науки, образования и предпринимательства).

Для формирования технологического базиса в целях инновационного развития традиционных секторов национальной экономики необходимо обеспечить решение следующих задач:

- повышение количества заданий государственных, отраслевых и региональных научно-технических программ и инновационных проектов, базирующихся на технологиях V и VI технологических укладов;
- создание механизма реализации проектов полного инновационного цикла «от идеи через НИОК(Т)Р до производства»;
- повышение качества и оперативности проведения государственной научной и государственной научно-технической экспертиз (далее – государственная экспертиза).

*Для цифровой трансформации традиционных секторов национальной экономики необходимо обеспечить решение следующих задач:*

- формирование правовых и технологических условий для реализации цифровой трансформации национальной экономики;
- организация подготовки, переподготовки, повышения квалификации кадров на основе заказа организаций – заказчиков кадров.

*Для организации разработки и реализации комплексных проектов необходимо обеспечить решение следующих задач:*

- формирование национальной системы технологического прогнозирования;
- концентрация финансовых ресурсов в рамках Государственной программы на реализации комплексных проектов, основанных на отечественных разработках и технологиях, базирующихся на V и VI технологических укладах;
- совершенствование системы коммерциализации отечественных разработок.

*Для сбалансированного развития высокотехнологичных производств во всех регионах Республики Беларусь необходимо обеспечить решение следующих задач:*

- определение направлений развития научно-технической и инновационной деятельности в регионах республики с учетом их геоэкономической специфики;
- формирование и развитие инновационно-промышленных кластеров как групп технологически интегрированных организаций, формирующих единую цепочку создания добавленной стоимости, координирующих свою деятельность на рынке и характеризующихся общностью коммерческих интересов, сосредоточенных на определенной территории, взаимодействие которых усиливает их конкурентные преимущества на отраслевом, национальном и мировом рынках.

Механизмами их решения являются:

- разработка и реализация региональных стратегий инновационного развития и научно-технических программ с учетом потребно-

стей каждого региона и научного, научно-технического и инновационного потенциала научных организаций и учреждений высшего образования;

- формирование нормативной правовой базы в области кластерного развития экономики;

- развитие высокотехнологичных производств, осуществляющих выпуск продукции с применением передовых высокоэффективных технологий, основанных на экологических («зеленых») принципах, предполагающих снижение рисков для окружающей среды и предотвращение истощения ее компонентов при обеспечении намеченного роста производства продукции;

- разработка с учетом результатов Комплексного прогноза научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г. и реализация в каждой области республики инновационных проектов по созданию экспортоориентированных и импортозамещающих производств, базирующихся на технологиях V и VI технологических укладов;

- приоритетное финансирование за счет средств местных инновационных фондов инновационных проектов, базирующихся на технологиях V и VI технологических укладов;

- развитие технопарков и свободных экономических зон в качестве площадок для организации производств, базирующихся на технологиях V и VI технологических укладов;

- организация разработки и реализации в регионах республики комплексных проектов, направленных на стимулирование взаимодействия и системной интеграции субъектов хозяйствования в сферах науки, образования и производства, в том числе на основе кластерной модели развития.

*Для развития взаимовыгодного международного научно-технического и инновационного сотрудничества с привлечением технологий мирового уровня в экономику страны и иностранных инвестиций в научную, научно-техническую и инновационную сферы необходимо обеспечить решение следующих задач:*

- увеличение количества и объема финансирования проектов, выполняемых в рамках международного научно-технического сотрудничества в соответствии с международными договорами;

- повышение эффективности международного научно-технического сотрудничества;

- обеспечение доступа отечественных организаций и ученых к

передовым зарубежным технологиям и международному рынку инвестиций.

*Для диверсификации номенклатуры и географической структуры экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции необходимо обеспечить решение следующих задач:*

- стимулирование экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции;
- развитие системы продвижения инновационной продукции на международных рынках;
- обеспечение охраны и защиты прав на объекты интеллектуальной собственности в отношении отечественной наукоемкой и высокотехнологичной продукции, экспортируемой в зарубежные страны.

### **3.2. Переход к V и VI технологическим укладам**

*Под технологическим укладом, как правило, понимается совокупность технологий, характерных для определенного уровня развития производства. В связи с научным и технико-технологическим прогрессом происходит переход от более низких укладов к более высоким, прогрессивным [5, 6].*

Доминирующие уклады призваны быть «локомотивами» экономического развития. В современной экономике большинства стран присутствуют в основном IV, V, и VI технологические уклады. Для IV технологического уклада, период доминирования которого приходился на 1920–1970 гг., характерно массовое применение двигателя внутреннего сгорания, электродвигателя и развитие на этой основе автомобиле-, тракторо- и самолетостроения с дальнейшим использованием энергетики нефтепродуктов, в том числе при производстве синтетических материалов. *Период доминирования V технологического уклада приходится на 1970–2020 гг.* Данный уклад характеризуется массовым применением инноваций в области микроэлектроники, информационных технологий, генной инженерии, биотехнологий. Сегодня мир стоит на пороге VI технологического уклада. Его контуры уже проявились в развитых странах мира, в первую очередь, в США, Японии и КНР, и характеризуются нацеленностью на развитие и массовое использование молекулярных, клеточных и ядерных технологий, нанотехнологий, нанобиотехнологий, нанобионики, микроэлектронных технологий, наноматериалов, нанороботизации и других наноразмерных производств. Синтез достижений на этих направлениях должен в итоге обеспечить выход на принципиально новый уровень в системах управления государством, обществом и экономикой.

кой. На рис. 3.1 представлены данные изменения финансирования исследований и разработок в США, определяющее научную специализацию (динамика структуры федеральных расходов на исследования и разработки в США\*)

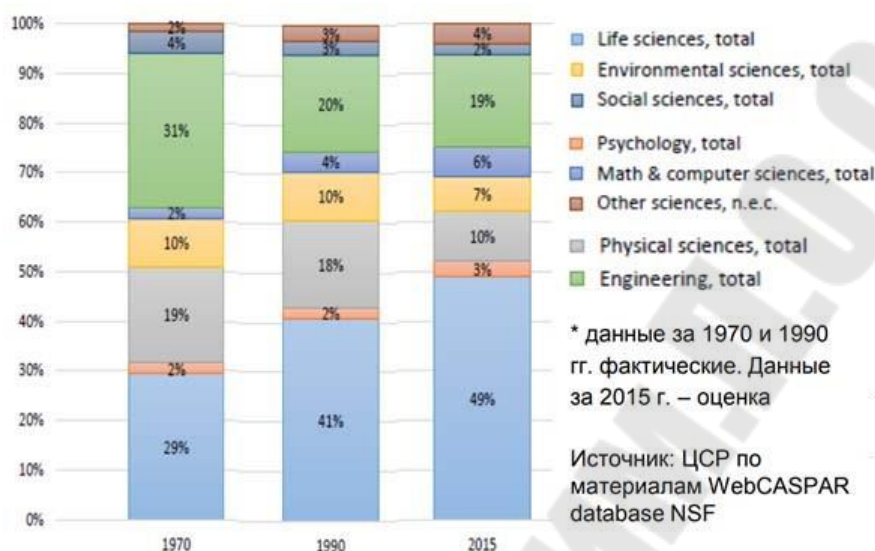


Рис. 3.1. Данные изменения финансирования исследований и разработок в США

Сопоставление приоритетов в исследованиях и разработках представлено в табл. 3.2.

Таблица 3.2

#### Сопоставление приоритетов в исследованиях и разработках

Китай (The National Medium- and Long-Term Program for Science and Technology Development (2006–2020))	ЕС (Horizon 2020)	США (A Strategy for American Innovation, 2015)	Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в РФ (утв. Указом Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899)
Создание мирового класса НИИ и университетов, а также таких центров в промышленности	Здравоохранение, демографические изменения и благосостояние населения	Решение проблемы глобальной безопасности к 2030 г.	Безопасность и противодействие терроризму

<b>Китай (The National Medium- and Long-Term Program for Science and Technology Development (2006–2020))</b>	<b>ЕС (Horizon 2020)</b>	<b>США (A Strategy for American Innovation, 2015)</b>	<b>Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в РФ (утв. Указом Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899)</b>
Освоение основных технологий для производства оборудования и в информационной индустрии	Превосходство Европы в науке и развитие талантов, привлечения ведущих ученых в Европу	Прорыв в использовании космоса. Сделать человечество обитателем разных планет	Индустрия наносистем
Технологический прорыв в развитии энергетики, энергосбережения и чистая энергия	Продовольственная безопасность, устойчивое сельское хозяйство, морские исследования и биоэкономика	Развитие в сфере искусственного интеллекта (ИИ). Новые горизонты в вычислительной технике	Информационно-телеком-мундационные системы
Современные вооружения и связанных с ним ИКТ, S&T поддержка для обеспечения национальной безопасности	Безопасная, чистая и эффективная энергия. Умный, зеленый и интегрированный транспорт. Борьба с изменением климата. Ресурсоэффективность	Персональная (точная) медицина. Принципиальное сокращение смертности от транспорта. Прорывные инновации	Робототехнические комплексы (системы) военного, специального и двойного назначения
Создание мирового лидера в области сельскохозяйственных наук и технологий	Индустриальное лидерство	Развитие нейротехнологий, проект BRAIN Initiative	Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники
Контингент ученых и научных коллективов мирового уровня	Инклюзивное, инновационное и безопасное общество	Участие в революции технологий образования	Рациональное природопользование
Создание технологической модели развития с циклической экономикой		Умные города. Технологии чистой энергии и энергоэффективность	Транспортные и космические системы
Профилактика и борьбы с болезнями (ВИЧ, гепатита и других серьезных болезней)			Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика
			Науки о жизни



Специалисты по прогнозам предполагают, что при сохранении нынешних темпов технико-экономического развития, VI технологический уклад окончательно оформится в 2020 г., а в фазу зрелости вступит в 2040-е гг.

По весьма приблизительным оценкам экспертов [6], в настоящее время в экономике США доля IV технологического уклада составляет 20 %, доля V технологического уклада – 60 %, доля VI технологического уклада – 5 %. В Российской Федерации около 30 % составляет III технологический уклад, примерно 50 % составляет IV технологический уклад, 10 % – V технологический уклад.

В Республике Беларусь сегодня значительная часть технологий относится к IV технологическому укладу, а почти треть – и вовсе к III. Отсюда понятна вся сложность стоящей перед отечественной наукой и технологиями задачи: войти в ближайшем будущем в число государств с VI технологическим укладом.

*Правовое обеспечение развития новых технологических укладов в Республике Беларусь.* Государство играет важную роль в поддержке нововведений, выступает главным заказчиком разработок, стимулирует интенсивное вовлечение страны в международные производственные отношения. В Республике Беларусь тема перехода экономики на более прогрессивные технологические уклады возникла не сегодня. Еще в 2007 г. в Директиве Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» была поставлена задача создать условия для наращивания выпуска инновационной и высокотехнологичной продукции, созданной с использованием технологий V и VI технологических укладов. В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. «стратегической целью устойчивого развития Республики Беларусь является обеспечение высоких жизненных стандартов населения и условий для гармоничного развития личности на основе перехода к высокоэффективной экономике, основанной на знаниях и инновациях, при сохранении благоприятной окружающей среды для нынешних и будущих поколений» [7].

Для решения задач, направленных на обеспечение инновационного, высокотехнологичного развития страны, утвержден перечень приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг. и перечень приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. На приоритетное развитие высокотехнологических секторов экономики направлена Государственная программа инновационного разви-

тия Республики Беларусь на 2016–2020 гг., в которой главной целью прописано «обеспечение качественного роста и конкурентоспособности национальной экономики с концентрацией ресурсов на формировании ее высокотехнологичных секторов, базирующихся на производствах V и VI технологических укладов» [8, 9].

Чтобы экономика Республики Беларусь была в состоянии обеспечить соответствующий рост объемов производства в области высоких технологий, требуется большое число специалистов высокого уровня квалификации с подготовкой, направленной как на разработку технологий и их применение в реальном секторе экономики, так и на коммерциализацию изобретений и инноваций. Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь приказом от 29 марта 2012 г. № 146 утвердил Перечень приоритетных специальностей научных работников высшей квалификации, необходимых для развития высокотехнологичных производств, относящихся к V и VI технологическим укладам экономики.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 марта 2016 г. № 250 утверждена Государственная программа «Образование и молодежная политика» на 2016–2020 гг., предусматривающая подготовку кадров для высокотехнологичных производств. Приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 6 июня 2017 г. № 166 утверждены Методические рекомендации по отнесению технологий к V и VI технологическим укладам, в которых понятие «технологический уклад» определено как «комплекс технологически сопряженных производств, характерных для определенного уровня развития общественного производства (ядро технологического уклада)». В соответствии с этими Методическими рекомендациями к V технологическому укладу следует относить: информационно-коммуникационные технологии; биотехнологии; технологии в области микро- и радиоэлектроники; технологии в области роботостроения и приборостроения; технологии в области вычислительной, оптико-волоконной техники и офисного оборудования; технологии производства медицинской техники и оказание высокотехнологичной медицинской помощи; технологии производства фармацевтической продукции; технологии производства новых материалов с заданными свойствами; авиакосмические технологии; технологии в области атомной энергетики и возобновляемых источников энергии. К VI технологическому укладу относятся нанотехнологии; генно-инженерные и клеточные технологии; технологии искусственного интеллекта и аддитивные технологии [6].

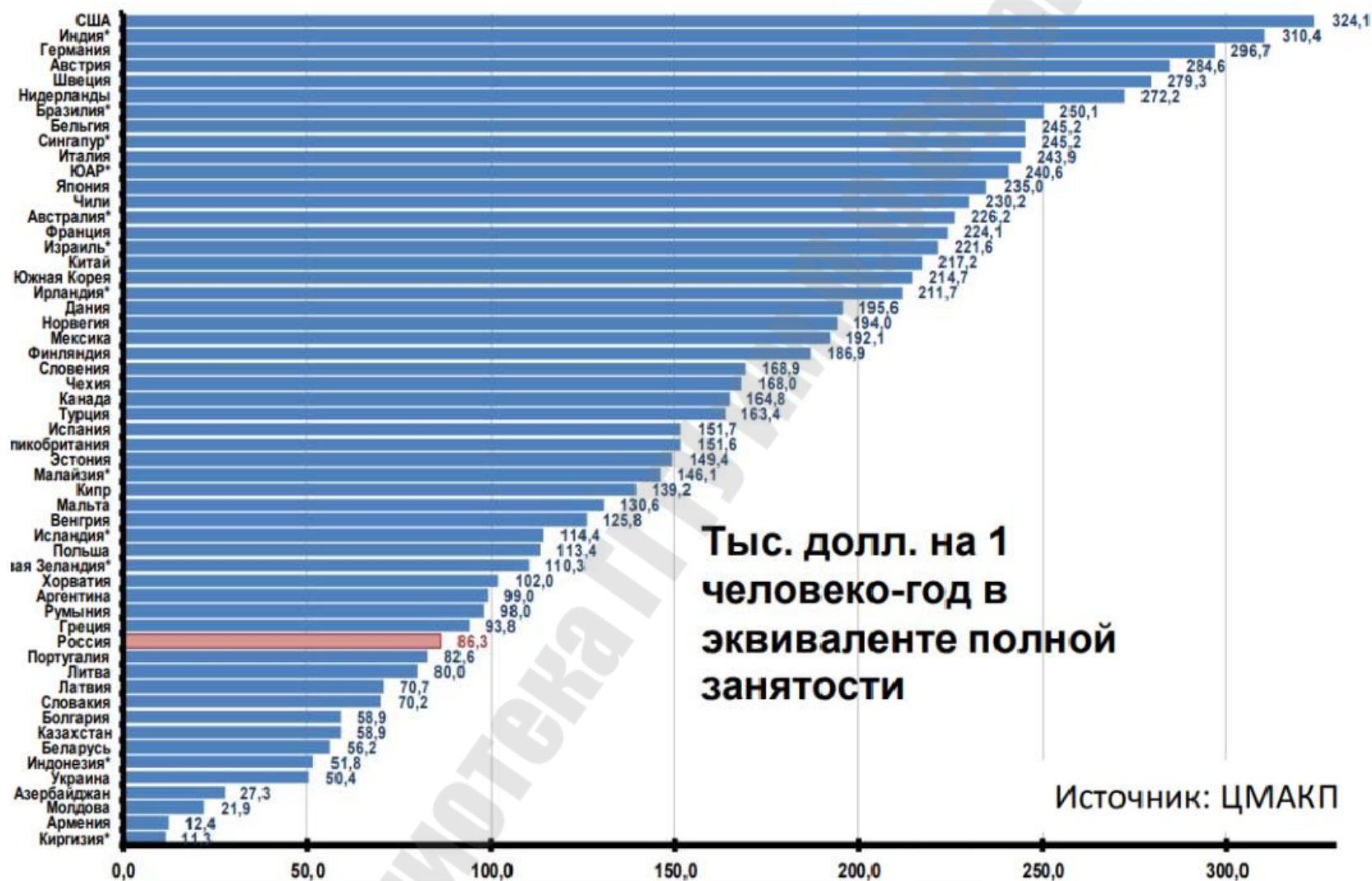


Рис. 3.2. Внутренние расходы на НИОКР на одного исследователя в 2011–2013 гг.

2. Развитие новейших технологий в рамках государственных научно-технических программ. На научное обеспечение новейших технологических укладов в настоящее время направлена реализация 17 научно-технических и государственных (в части мероприятий по научному обеспечению) программ. В рамках данных программ выполнялось около 350 заданий в части научно-исследовательских и опытно-конструкторских (опытно-технологических) работ (НИОК(Т)Р) и более 300 заданий в части выпуска продукции по завершенным разработкам программ. На рис. 3.2 представлены внутренние расходы на НИОКР на одного исследователя в 2011–2013 г.

По завершенным разработкам заданий на действующих предприятиях Республики Беларусь (РБ) с использованием новых технологий достигнуты следующие результаты: – создано 3 новых производства, модернизировано 6 существующих производственных объекта, проведена техническая подготовка 9 существующих производств; – разработано и доведено до стадии практического применения более 100 новшеств; – получено более 50 патентов на изобретения, подано около 30 заявок на патентование, заключено 5 лицензионных договоров. В настоящее время Республика Беларусь отстает от ведущих стран, работающих в V технологическом укладе, ядро которого составляют электронные компоненты и устройства, радио- и телекоммуникационное оборудование, лазерная техника и т. д. Уже сегодня видны черты следующего, VI технологического уклада, который будет основан на развитии нанотехнологии, биотехнологии, генной инженерии, информационных технологий. Все стратегии и программы, принятые в Республике Беларусь на государственном уровне, а также международное сотрудничество, направлены на поддержку инноваций и улучшение условий ведения бизнеса. Наибольшее внимание органов государственного управления направлено на развитие в стране высоких технологий и высокотехнологичных производств, основанных на технологиях V и VI технологических укладов. Стремление государства перейти к VI технологическому укладу и выйти на новый качественный уровень развития требует соответствующей перестройки мышления. Прежние механизмы, характерные для традиционной экономики, в сложившихся условиях не дают нужного результата.

Чтобы продолжать движение по инновационному пути экономического развития, перейти к более высокому технологическому укладу и интегрироваться в мировую экономику для участия в международном разделении труда, необходимо с учетом ориентиров

развития мировой экономики развивать инновационные отрасли национальной экономики, которые могут сформировать основу ее будущего роста. Для активизации инновационной деятельности необходимо создать адаптивные к происходящим изменениям структуры управления наукой и экономикой и подготовить инновационно-восприимчивый менеджмент. В обозримом будущем, основываясь на достижениях отечественной науки, Республика Беларусь способна обеспечить себе конкурентные преимущества в глобальной мирохозяйственной системе.

Основной формой поддержки инновационного развития в Российской Федерации со стороны органов государственной власти служит разработка правовых основ инновационной деятельности. Эта работа предусматривает:

- разработку и совершенствование законодательства, обеспечивающего формирование единой государственной инновационной политики, создание благоприятных условий для развития научно-технической и инновационной деятельности, в том числе ее стимулирование;
- нормативно-правовое обеспечение защиты авторских прав и интеллектуальной собственности, ее вовлечение в хозяйственный оборот;
- нормативно-правовое обеспечение частно-государственного партнерства при осуществлении инновационной деятельности;
- нормативно-правовое обеспечение подготовки кадров для инновационной экономики.

Анализ законодательной и нормативной базы, касающейся области научно-технической и инновационной деятельности, показывает, что в последние годы активно разрабатываются и вводятся в действие федеральные законы, нормативно-правовые акты, регламентирующие и обеспечивающие государственное регулирование в области развития науки и технологий и направленные:

- на развитие фундаментальной науки, важнейших прикладных исследований и разработок (формирование системы долгосрочного прогнозирования развития приоритетных направлений науки и технологий, а также приоритетов научно-технической и инновационной деятельности);
- повышение эффективности использования результатов научной и научно-технической деятельности и формирование рынков потребления научно-технической продукции (создание системы государственных заказов, стимулирование инвестиций в инновационную сферу);

– правовую охрану и защиту результатов интеллектуальной деятельности;

– совершенствование механизмов государственно-частного партнерства в инновационной сфере и регулирование взаимодействия между участниками инновационного процесса – субъектами инновационной деятельности;

– создание, сохранение и развитие кадрового потенциала научно-технического и инновационного комплексов, повышение престижа научной, научно-технической, образовательной и инновационной деятельности;

– организацию финансирования инновационной деятельности, повышение эффективности деятельности федеральных, межрегиональных фондов научного, научно-технического и технологического развития, интеграцию в этом направлении усилий государства и предпринимательского сектора экономики;

– регулирование сферы международного научного, научно-технического и технологического сотрудничества, стимулирование создания международных научных организаций, научно-производственных структур, поддержку продвижения на мировой рынок отечественной научной и научно-технической продукции.

К базовым законодательным, правительственным и другим нормативно-правовым актам в области научно-технической и инновационной деятельности относятся:

- Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (2030 г.): концептуальные подходы, направления, прогнозные оценки и условия реализации [10].

Этот документ наряду с Концепцией социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. [11] служит основным документом системы стратегического планирования Российской Федерации. В документе дана оценка состояния и проанализированы проблемы развития научно-технологического комплекса России. Определены внешние и внутренние условия и рамки долгосрочного прогноза научно-технологического развития, основные внутренние вызовы для российской экономики и ограничения развития научно-технологического комплекса, а также рамки, задаваемые стратегическими документами экономического развития России, т. е. целевые параметры, которые необходимо достичь в технологическом развитии. Выделены перспективные направления научно-технологического развития с учетом взглядов зарубежных и российских экспертов и экспертных организа-

ций. Дан прогноз ресурсных потребностей научного потенциала России и определены возможные источники финансирования. Определены основные направления совершенствования научно-технологической политики, обеспечивающие условия для реализации долгосрочного прогноза. Сформулированы принципы формирования и реализации национальных приоритетов научно-технологического развития, а также даны предложения по использованию нового для России инструмента научно-технологической политики – технологических платформ. Разработаны предложения по интеграции прогноза развития науки и технологий в национальную систему прогнозирования и институционализации Форсайта как инструмента разработки долгосрочного прогноза научно-технологического развития.

- Приказ Минобрнауки РФ от 01.07.2009 г. № 235 «Об утверждении Положения о Межведомственной комиссии по совершенствованию прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу на регулярной основе» (зарегистрировано в Минюсте РФ 27.08.2009 г. № 14634).

- Федеральный закон от 25.12.2008 г. № 284-ФЗ «О передаче прав на единые технологии».

Этим законом на основании главы 77 части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации осуществляется специальное законодательное регулирование порядка передачи прав на единые технологии, созданные с привлечением государственных бюджетных средств. В частности, им определяются процедура проведения конкурсов и аукционов на право заключения договоров об отчуждении прав на единые технологии; условия передачи прав на единые технологии без проведения конкурса и аукциона; порядок проведения дополнительных работ, направленных на доведение единых технологий до стадии необходимого практического применения; условия договоров о передаче прав на единые технологии; особенности передачи прав на единые технологии, содержащие сведения, составляющие государственную тайну; а также регулируются отношения по передаче прав на единые технологии, принадлежащие совместно Российской Федерации или субъекту Российской Федерации и иным лицам, решаются иные вопросы, связанные с распоряжением правами на единые технологии.

- Федеральный Закон от 23.08.1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике». Этот Федеральный закон регулирует отношения между субъектами научной и научно-

технической деятельности, органами государственной власти и потребителями научной и научно-технической продукции.

- Основные направления политики Российской Федерации в области развития инновационной системы на период до 2010 г. Утверждены Правительством Российской Федерации 05.08.2005 г. № 2473п-П7.

- Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом Российской Федерации 30.03.2002 г. № Пр-576.

- Основные направления государственной инвестиционной политики Российской Федерации в сфере науки и технологий. Утверждены распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.12.2002 г. № 1764-р.

- Доктрина развития российской науки. Одобрена Президентом Российской Федерации 13.06.1996, указ Президента Российской Федерации от 13.06.1996 г. № 884.

- Федеральный Закон от 02.08.2009 г. № 217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности».

Основная цель Закона – обеспечение реального внедрения в производство создаваемых за счет бюджетных средств результатов научно-технической деятельности, права на которые принадлежат учреждениям науки и образования, а также правовое обеспечение установленных Гражданским кодексом Российской Федерации возможностей для учреждений науки и образования быть участником и учредителем хозяйственных обществ, занимающихся практическим применением (внедрением) результатов интеллектуальной деятельности, права на которые принадлежат данным учреждениям. Законом внесены изменения в следующие законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике»; Федеральный закон от 22 августа 1996 г. № 125-ФЗ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании»; Федеральный закон от 8 февраля 1998 г. № 14-ФЗ «Об обществах с ограниченной ответственностью»; Федеральный закон от 24 июля 2007 г. № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации». В соответствии с Законом бюджетные научные учреждения, на-



учные учреждения государственных академий наук, бюджетные образовательные учреждения высшего профессионального образования, образовательные учреждения высшего профессионального образования государственных академий наук (далее – научные и образовательные учреждения) наделяются правом создавать хозяйственные общества без согласия собственника имущества. Однако распоряжение долями (акциями) в уставных капиталах таких хозяйственных обществ может осуществляться только с предварительного согласия соответствующих собственников. Законом установлена обязанность научных и образовательных учреждений уведомить федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере научной и научно-технической деятельности (Минобрнауки России), о создании такого общества. Научные и образовательные учреждения могут создавать хозяйственные общества единолично либо с привлечением других лиц в качестве учредителей.

- Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2025 г. Утверждена Межведомственной комиссией по научно-инновационной политике (Протокол от 15 февраля 2006 г. № 1). Определены целевые показатели, характеризующие реализацию Стратегии по годам до 2015 г., и необходимые объемы и источники финансирования Стратегии. При этом рассмотрение проводилось как в рамках инерционной динамики, которая, по сути, не дает должных оснований надеяться на формирование в стране «экономики, основанной на знании» и приводит к дальнейшей стагнации науки и инноваций в стране, так и в рамках рационального варианта реализации Стратегии, основанного на разумной консервативности в увеличении бюджетных расходов по реализации Стратегии и направленного на активизацию государственной политики по обеспечению инновационного развития страны.

- Перечень критических технологий Российской Федерации. Утвержден Президентом РФ 21 мая 2006 г., Пр-842.

- Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Утверждены Президентом РФ 21 мая 2006 г., Пр-843.

- Доктрина информационной безопасности Российской Федерации. Утверждена Президентом Российской Федерации 09.09.2000 г. № Пр-1895.

- Постановление Правительства РФ от 18.11.2006 г. № 696 «Об осуществлении контроля в сфере правовой охраны и использования

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, выполняемых за счет средств федерального бюджета». Определены полномочия, функции и порядок деятельности по осуществлению контроля в сфере правовой охраны и использования результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, выполняемых за счет средств федерального бюджета. Контроль осуществляется Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам во взаимодействии с государственными заказчиками и академиями наук, имеющими государственный статус. Установлено, что настоящее Положение не распространяется на контроль в области результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного, специального и двойного назначения, а также результатов научно-технической деятельности в агропромышленном комплексе, животноводстве и растениеводстве.

- Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства». Постановлением утверждены «Правила предоставления субсидий на государственную поддержку развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

- Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 219 «О государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования». Постановлением утверждено «Положение о государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры, включая поддержку малого инновационного предпринимательства, в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования».

- Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 220 «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные учреждения высшего профессионального образования». Постановление принято в целях усиления государственной поддержки развития науки и инноваций в высшей школе и повышения качества высшего образования. Постановлением утверждены: «Положение о Совете по грантам Правительства Российской Федерации для госу-

дарственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования»; «Положение о выделении грантов Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования».

- Концепция Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы». Утверждена Правительством РФ, распоряжение от 6 июля 2006 г. № 977-р. Государственным заказчиком-координатором Федеральной целевой программы (далее – Программа) определен Министерство образования и науки России, государственными заказчиками Программы – Роснаука, Рособразование и Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова.

### **3.3. Характеристика документов, обеспечивающих инновационное развитие энергетики России**

Долгосрочная энергетическая политика в стране, предусматривающая инновационное развитие энергетики, определяется в настоящее время Энергетической стратегией России на период до 2030 г. (в дальнейшем – ЭС–2030), утвержденной распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. №1715-р [12]. Этот документ разработан при активном участии Института энергетической стратегии и представляет новую редакцию Энергетической стратегии России на период до 2020 г. (в дальнейшем – ЭС–2020), принятую Правительством в августе 2003 г.

*Энергетическая стратегия* – основной документ, содержащий систему научно обоснованных утверждений о приоритетах долгосрочной энергетической политики государства и механизмах ее реализации (рис. 3.3). Она определяет приоритеты, направленность и средства структурной, региональной, научно-технической и экологической политики в энергообеспечении страны. Этот документ закрепляет целевые задачи, приоритеты и ориентиры на различных этапах долгосрочного развития, а также механизмы государственной энергетической политики и «дорожную карту» их реализации.

Цели ЭС-2030 определяются основными внутренними и внешними вызовами предстоящего долгосрочного периода.

Главный внутренний вызов заключается в необходимости выполнения энергетическим сектором страны своей важнейшей роли в рамках намеченного перехода на инновационный путь развития экономики и его последующей реализации. Содержание данного вызова определяется представленными в утвержденной Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г. [11] приоритетами и ориентирами развития страны, их пролонгацией на период до 2030 г., а также системообразующим значением энергетического сектора в российской экономике.

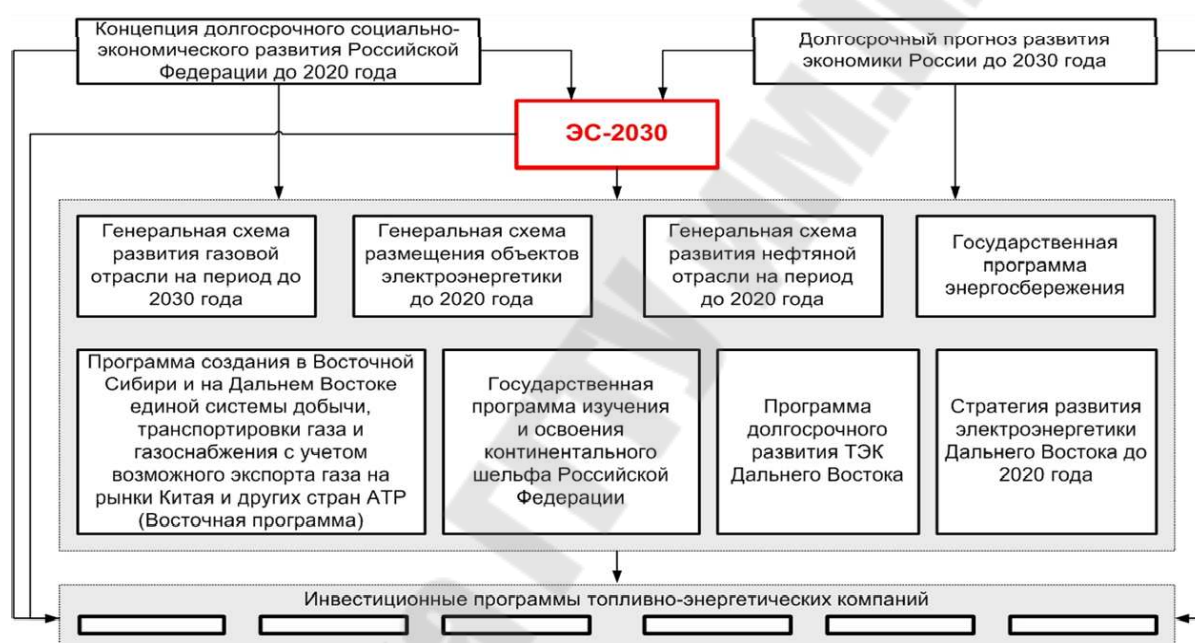


Рис. 3.3. Место ЭС–2030 в системе стратегических и программных документов

Главный внешний вызов заключается в необходимости преодоления угроз, связанных с неустойчивостью мировых энергетических рынков и волатильностью мировых цен на энергоресурсы, а также в необходимости обеспечения вклада энергетического сектора страны в повышение эффективности ее внешнеэкономической деятельности и усиление позиций России в мировой экономической системе.

Главная цель ЭС–2030 – создание инновационного и эффективного энергетического сектора страны, адекватного как потребностям растущей экономики в энергоресурсах, так и внешнеэкономическим

интересам России, обеспечивающего необходимый вклад в социально ориентированное инновационное развитие страны.

Достижение указанной цели требует последовательного продвижения в решении следующих основных задач:

- повышение эффективности воспроизводства, добычи и переработки топливно-энергетических ресурсов для удовлетворения внутреннего и внешнего спроса на них;
- модернизация и создание новой энергетической инфраструктуры на основе масштабного технологического обновления энергетического сектора экономики страны;
- формирование устойчиво благоприятной институциональной среды в энергетической сфере;
- повышение энергетической и экологической эффективности российской экономики и энергетики, в том числе за счет структурных изменений и активизации технологического энергосбережения;
- дальнейшая интеграция российской энергетики в мировую энергетическую систему.

Принципы государственной энергетической политики, провозглашенные в ЭС–2030:

- последовательность действий государства по реализации важнейших стратегических ориентиров развития энергетики;
- заинтересованность в создании сильных и устойчиво развивающихся энергетических компаний, достойно представляющих Россию на внешних рынках и способствующих успешному функционированию конкурентных внутренних рынков;
- обоснованность и предсказуемость государственного регулирования, направленного на стимулирование частной предпринимательской инициативы в области реализации целей государственной политики, в том числе в инвестиционной сфере.

Реализация ЭС–2030 предусматривается в три этапа (рис. 3.4). С позиций оценки инновационного характера развития энергетики в рамках двух редакций Стратегии энергетического развития России: ЭС-2020 и ЭС-2030 – можно выделить также следующие этапы:

- 2008–2012 гг. – ресурсно-инновационное развитие;
- 2013–2020 гг. – инвестиционно-инновационное обновление;
- 2021–2030 гг. – инновационное развитие.

Роль топливно-экономического комплекса в обеспечении поступательного развития экономики страны в целом может быть интерпретирована схемой (рис. 3.5).



Рис. 3.4. Этапы реализации ЭС–2030

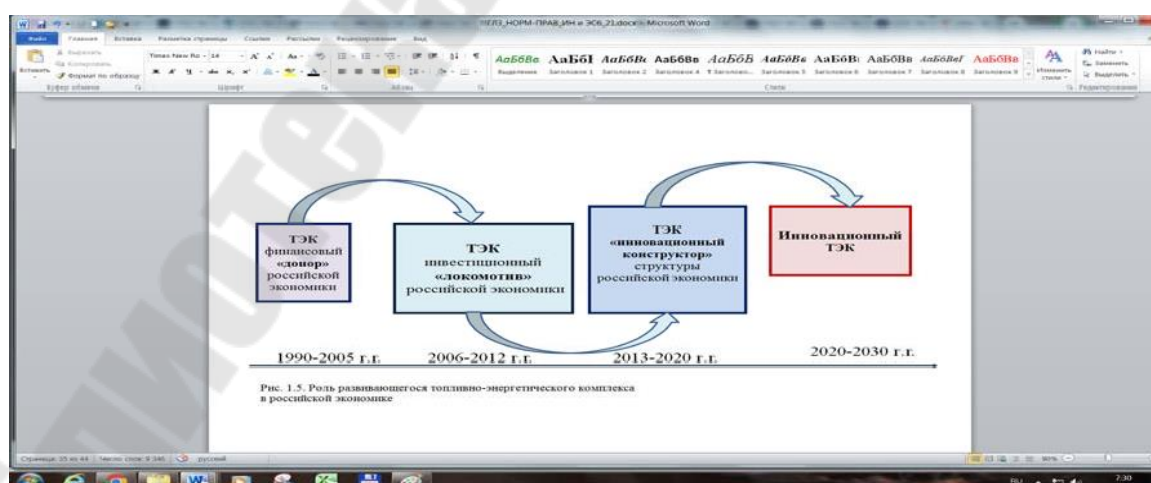


Рис. 3.5. Роль развивающегося топливно-энергетического комплекса в российской экономике



Наряду с внутренней энергетической политикой в ЭС–2030 поставлены цели, задачи, проработан механизм реализации внешней энергетической политики. Глобальный характер энергетических проблем, их усиливающаяся политизация, а также объективная значимость российского топливно-энергетического комплекса в мировой энергетике предопределяют важную роль внешней энергетической политики страны.

Стратегической целью внешней энергетической политики служит максимально эффективное использование энергетического потенциала России для полноценной интеграции в мировой энергетический рынок, укрепления позиций на нем и получения наибольшей выгоды для национальной экономики.

Меры и механизмы реализации внешней энергетической политики:

- активное участие в международном переговорном процессе по энергетическим вопросам, обеспечение баланса интересов импортеров, экспортеров и транзитеров энергоресурсов в международных договорах и в деятельности международных организаций;

- развитие сотрудничества в области энергетики со странами Содружества Независимых государств, Евразийского экономического сообщества, Северо-Восточной Азии, Шанхайской организации сотрудничества, Европейского Союза, с другими международными организациями и государствами;

- координация деятельности на мировых рынках нефти и газа со странами ОПЕК и ФСЭГ;

- содействие формированию единого европейско-российско-азиатского энергетического пространства;

- содействие обеспечению благоприятного и недискриминационного режима деятельности отечественных энергетических и сервисных компаний (а также иностранных компаний с долевым участием российских лиц) на мировых рынках, включая их доступ к зарубежным рынкам энергоресурсов и к рынкам конечного энергопотребления;

- содействие привлечению на взаимовыгодных условиях зарубежных инвестиций, в первую очередь в технически сложные и высокорискованные проекты;

- обеспечение доступа российских энергетических компаний к использованию ресурсов мировых финансовых рынков, передовых энергетических технологий;

- стимулирование развития и экспорта российских технологий, а также услуг российских компаний в сфере ТЭК;
- стимулирование строительства транспортной инфраструктуры для диверсификации рынков сбыта и направлений экспорта российских энергоресурсов на востоке, юге, северо-западе и севере страны;
- стимулирование роста доли энергоресурсов высокой степени переработки в общей структуре экспорта российских ТЭР;
- рациональное развитие транзитных потоков энергоресурсов через территорию России;
- развитие новых форм международного (в том числе технологического) сотрудничества в энергетике;
- обеспечение транспарентности энергетической политики Российской Федерации и координации ее Энергетической стратегии с перспективными планами и энергетическими стратегиями других участников рынка;
- активное участие России в международном сотрудничестве по развитию энергетики будущего (водородной энергетики, термоядерной энергетики, использовании энергии морских приливов и др.).

Таким образом, ЭС–2030 обеспечивает удовлетворение внутреннего и экспортного спроса на энергоресурсы в соответствии с требованиями прогноза социально-экономического развития России и с условиями мирового энергетического рынка. Государственная энергетическая политика обеспечивает переход от экспортно-сырьевого к инновационному развитию страны.

Основные приоритеты ЭС–2030: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность, эффективность бизнеса, экологическая эффективность.

Система реализации ЭС–2030 также предусматривает:

- принятие нормативных правовых актов, обеспечивающих реализацию основных положений ЭС–2030;
- включение в план действий Правительства Российской Федерации по реализации основных направлений социально-экономического развития Российской Федерации на соответствующий период необходимых мероприятий, обеспечивающих реализацию ЭС–2030;
- обеспечение учета основных положений ЭС–2030 при разработке корпоративных и региональных стратегических документов и при формировании инвестиционных планов и программ в сфере энергетики;



– совершенствование системы показателей результативности государственной энергетической политики;

– формирование информационно-аналитического обеспечения системы мониторинга реализации ЭС–2030 с использованием государственных информационных ресурсов, привлечением различных общественно-политических структур и объединений, представителей законодательной власти, средств массовой информации, научных центров и институтов;

– своевременное выявление и системный анализ происходящих изменений в целях предупреждения и преодоления негативных тенденций, влияющих на энергетическую безопасность страны.

Масштабность, новизна, важность не только для энергетики, но и для всей экономики, а значит для социально-экономического и политического развития страны намеченных в ЭС–2030 целей и задач по их достижению требуют разработки новых и переработки действующих законодательных, нормативно-правовых мер, обеспечивающих управление реализацией Энергетической стратегии России на период до 2030 г.

Для обеспечения выполнения задач, поставленных ЭС–2030, ГУ «Институт Энергетической стратегии» сформулировал систему основных мер, которые должно предпринять государство в сфере совершенствования энергетической эффективности. Этой системой предусмотрены:

### **1. Законодательные и правовые меры.**

Принятие Федеральных Законов:

- Об энергосбережении – выполнено принятием Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ [03].

- Об энергетической безопасности.

- Об индикативном планировании ТЭБ.

- О федеральных энергетических системах.

- О возобновляемых источниках энергии.

- О теплоснабжении.

Принятие дополнений в «Налоговый кодекс» в целях стимулирования энергосбережения.

### **2. Нормативные и программные меры.**

Разработка государственной программы энергосбережения.

Разработка региональных и отраслевых программ энергосбережения.

Разработка системы нормативов энергопотребления в энергоемких видах деятельности как основы системы санкций за энергорасточительство.

Создание нормативных и методических актов энергетических обследований, энергосервисных услуг, поддержки бизнеса в этой сфере.

Регламентация бюджетного (кредитного) участия в реализации программ энергосбережения.

Поддержка государством рыночной биржевой и спотовой торговли энергоносителями.

Формирование системы информации и пропаганды в сфере энергосбережения и энергоэффективности.

### **3. Организационные меры.**

Определить федеральный орган государственной власти, уполномоченный проводить в стране энергосберегающую политику.

Создать российскую информационно-экономическую систему энергоэффективности.

Создать систему государственной энергетической экспертизы.

Усовершенствовать систему государственной статистической отчетности в сфере энергоиспользования.

Учредить государственные премии России за достижения в области энергоэффективности.

В качестве примера, характеризующего сложность, разносторонность и объем проводимой и предстоящей работы этого плана, рассмотрим современное состояние нормативно-правовой базы для развития электроэнергетики на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), развитию которых ЭС–2030 придает очень большое значение. Цель этой работы – создание правовых и экономических предпосылок для активного развития энергетики на базе ВИЭ и для повышения инвестиционной привлекательности отрасли.

В бывшем СССР экспериментально-практические работы по применению ВИЭ проводились за счет средств государственного бюджета без какого-либо специального законодательства. Принимались лишь ведомственные программы и стратегии развития. Последняя такая программа была принята в конце 80-х гг. прошлого века и не была выполнена по причине экономического кризиса 90-х гг. В 1998 г. была предпринята первая попытка принятия российского закона о ВИЭ. Но принятый Государственной Думой и одобренный Советом Федерации закон был отклонен тогдашним Президентом РФ.

С 2004 г. вновь возобновлена работа по разработке новой редакции проекта закона о ВИЭ. В значительной степени это связано со стремительным ростом в этот период цен на нефть и газ. Полагается, что закон о возобновляемых источниках энергии должен предусматривать систему мер поддержки возобновляемой энергетики. В качестве первоочередных документов отраслевого уровня разрабатываются документы по организации геолого-изыскательских работ, проектированию энергетических объектов на основе ВИЭ, экспертизе проектов энергетических объектов, правила эксплуатации, подсоединения к сетям общего пользования, обоснования тарифов и т. д.

В табл. 3.3 охарактеризованы документы, которые должны составлять основу, опираясь на которую следует разрабатывать и совершенствовать нормативно-правовую базу развития ВИЭ.

В настоящее время разработан ряд проектов нормативно-правовых актов, направленных на реализацию положений ЭС-2030 по развитию ВИЭ в нашей стране. Эти документы проходят предварительное согласование с заинтересованными органами федеральной исполнительной власти. С учетом сегодняшних финансовых условий проекты документов подлежат детальной проработке в комплексе с бюджетным планированием.

В этой работе большое значение придается дальнейшему совершенствованию законодательства в части энергосбережения и возобновляемой энергетики, в частности подготовке Федерального закона о поддержке развития ВИЭ и обеспечению его принятия Государственной Думой.

Таблица 3.3

**Основополагающие документы для развития электроэнергетики  
на возобновляемых источниках энергии**

Наименование документа	Характеристика документа с позиций обеспечения развития ВИЭ
Федеральный закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» с изменениями и дополнениями, принятыми Федеральным законом от 04.11.2007 г. № 250-ФЗ	Дана классификация возобновляемых источников энергии; – обозначены основные меры поддержки развития электроэнергетики на ВИЭ; – определены полномочия органов власти в части реализации механизмов господдержки энергетики на ВИЭ; – отсутствует четкость относительно неценовых и изолированных зон, розничных рынков

Наименование документа	Характеристика документа с позиций обеспечения развития ВИЭ
Указ Президента РФ от 04.06.2008 г. № 899 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики»	Намечено повышение экономической и экологической эффективности основных отраслей народного хозяйства; – поставлена задача подготовки проектов ФЗ, стимулирующих применение экологически чистых технологий; – предписано усиление ответственности за несоблюдение нормативов допустимого воздействия на окружающую среду; – предусмотрено применение мер бюджетной поддержки использования ВИЭ и экологически чистых технологий
Постановление Правительства РФ от 03.06.2008 г. № 426 «О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования ВИЭ»	Установлен порядок квалификации и критерии отнесения генерирующего объекта к объектам генерации на ВИЭ; – определены направления его поддержки с разработкой следующих нормативных документов (перечислены ниже)
Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 г. (Утверждены распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р)	Определены цели, направления и формы деятельности органов государственной власти в области развития электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии; – охарактеризовано состояние использования ВИЭ в РФ; – определены основные принципы государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования ВИЭ и меры по ее реализации

Кроме того, необходимо разработать:

- **распоряжение Правительства РФ** по утверждению «Методических указаний по декомпозиции целевых показателей по производству электрической и тепловой энергии с использованием ВИЭ по субъектам РФ, компаниям ТЭК и компаниям, имеющим долю в пред-

приятиях ТЭК, а также комплекс законодательных и подзаконных нормативных документов»;

- **законопроекты** или изменения к существующим федеральным законам, обеспечивающие:

- стимулирование производства тепловой энергии и топлива на основе использования ВИЭ;

- стимулирование производства электрической и тепловой энергии на основе использования ВИЭ для индивидуального и группового использования;

- **изменения к Федеральному закону «Об обороте спиртосодержащей продукции»**, предусматривающие освобождение от акцизного налога производителей биоэтанола;

- разработать и утвердить **подзаконные акты**, обеспечивающие реализацию изменений Федерального Закона № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», касающиеся производства электрической энергии на основе использования ВИЭ;

- **постановления Правительства РФ «О критериях предоставления из федерального бюджета субсидий для компенсации стоимости технологического присоединения генерирующих объектов, признанных квалифицированными объектами, функционирующими на основе использования возобновляемых источников энергии»** и **«О дополнительных мерах государственной поддержки использования возобновляемых источников энергии в Российской Федерации»**.

Таким образом, через формирование нормативно-правовой среды государство определяет правила функционирования и взаимодействия участников инновационного процесса. Кроме того, оно проводит государственную политику в области инновационной деятельности.

Государственная инновационная политика – часть государственной социально-экономической политики, связанная с осуществляемым государством комплексом организационных, экономических и правовых мер, направленных на развитие инновационной деятельности.

Проблема нормативно-правового обеспечения инновационного развития энергетики важна, поскольку официальные документы формируют задающее воздействие в системе управления инновационным развитием энергетики и определяют многие управляющие алгоритмы. Однако на современном этапе все более актуальное значение начинает приобретать уже не столько факт разработки законодательных и прочих нормативно-правовых документов по инновационной политике, сколько формирование государством эффективной системы отно-

шений между участниками инновационной деятельности. В условиях рыночной экономики формирование инновационной политики должно осуществляться с позиций оценки эффективности разрабатываемых новшеств.

### 3.4. Концепции, программы и комплексные планы энергетического комплекса Республики Беларусь

#### Характеристика электроэнергетического и газового секторов

Электроэнергетическая система по состоянию на 01.01.2021 г. дана в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Электроэнергетическая система по состоянию на 01.01.2021 г.

<b>Установленная мощность генерирующих энергоисточников Республики Беларусь</b>	<b>1007 3,99</b>	<b>М Вт</b>
<b>Установленная мощность 67 генерирующих энергоисточников ГПО «Белэнерго», из них:</b>	<b>8897, 31</b>	<b>М Вт</b>
– 42 тепловых электростанций (ТЭС), в том числе 12 ТЭС высокого давления	880 0,19 814 8,57	М Вт МВт
– 24 гидроэлектростанций (ГЭС)	88,11	М Вт
– 1 Новогрудская ветроэлектрическая станция (ВЭС)	9,0	М Вт
338 блок-станций потребителей, мощностью	1176, 69	М Вт
<b>Количество трансформаторных подстанций 35–750 кВ</b>	<b>1358</b>	<b>шт</b>
ПС 750 кВ	1	шт
ПС 330 кВ	35	шт
ПС 220 кВ	10	шт

ПС 110 кВ	734	шт
ПС 35 кВ	578	шт
<b>Количество трансформаторных подстанций ТП 6-10/0,4 кВ</b>	<b>74</b> <b>775</b>	<b>шт</b> <b>.</b>
<b>Протяженность линий электропередачи <i>Всего</i></b>	<b>280,6</b> <b>05</b>	<b>ты</b> <b>с. км</b>

Воздушные ЛЭП напряжением 35–750 кВ, в том числе:	36,79	тыс. км
Воздушные ЛЭП напряжением 0,4–10 кВ	201,78	тыс. км
Кабельные линии электропередачи	42,03	тыс. км
<b>Протяженность тепловых сетей в однострубно м исчислении</b>	<b>7,558</b>	<b>тыс. км</b>
<b>Общая численность персонала</b>	<b>66 750</b>	<b>чел.</b>

Состояние газового сектора на 01.01.2021 г.

На обслуживании газоснабжающих организаций ГПО «Белтоп-газ» находится:

- **3,6** млн квартир;
- в том числе на базе природного газа – **2,97** млн квартир;
- на базе сжиженного газа – **0,68** млн. квартир;
- 2,2 млн. квартир оборудованы приборами учета расхода газа;
- **64,5** тыс. км газопроводов;
- **2 739** ГРП (100 % оборудованы системами телемеханики);
- **5 226** ШРП;
- **268 145** домовых регуляторов;
- **288** ГЕУ;
- **7** ГНС;
- **86** АГЗС.

*Характеристика документов, обеспечивающих инновационное развитие энергетики Республики Беларусь*

1. ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 8 января 2015 г. № 239-З «Об энергосбережении»;

2. ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 30 июля 2008 г. № 426-З «ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ»;

3. УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 16 апреля 2021 г. № 153 «О развитии электроэнергетики»;

4. ДИРЕКТИВА ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 14 июня 2007 г. № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства»;

5. КОМПЛЕКСНЫЙ ПЛАН развития электроэнергетической сферы до 2025 г. с учетом ввода Белорусской атомной электростанции. Утвержден Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 01.03.2016 г. № 169.

6. КОНЦЕПЦИЯ энергетической безопасности Республики Беларусь. Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 23.12.2015 г. № 1084.



7. КОНЦЕПЦИЯ развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 г. Утверждена Министерством энергетики Республики Беларусь 25 февраля 2020 г. № 7.

**1. ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 8 января 2015 г. № 239-3 «Об энергосбережении».**

Состоит из 7 глав. Определяет основные термины энергосбережения. Энергетическая эффективность (энергоэффективность) – характеристика, отражающая отношение полученного эффекта от использования топливно-энергетических ресурсов к затратам топливно-энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Законодательство об энергосбережении основывается на Конституции Республики Беларусь и состоит из настоящего Закона и иных актов законодательства, регулирующих вопросы энергосбережения (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Организационно-правовая структура законодательства Республики Беларусь в сфере энергосбережения

Глава 2 рассматривает вопросы государственного регулирования в сфере энергосбережения. Глава 3 посвящена вопросам энергетического обследования (Энергоаудит): задачи проведения энергетического обследования (энергоаудита); энергетическое обследование (энергоаудит); оказание услуги по энергетическому обследованию (энергоаудиту); договор на оказание услуги по энергетическому обследованию (энергоаудиту); Использование результатов энергетического обследования (энергоаудита). Показатели, нормирование и программы в сфере энергосбережения рассмотрены в 4 главе Закона:

показатели в сфере энергосбережения; цели и задачи нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов; установление норм расхода топливно-энергетических ресурсов; текущие и прогрессивные нормы расхода топливно-энергетических ресурсов; разработка, утверждение и реализация программ в сфере энергосбережения. Надзор, оценка соответствия в сфере энергосбережения. Государственная экспертиза энергетической эффективности. Стимулирование энергосбережения рассматриваются в 5 главе. В 6 главе Закона рассматриваются вопросы образования, подготовка кадров, информационное обеспечение и международное сотрудничество в сфере энергосбережения.

## **2. ЗАКОН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 30 июля 2008 г. № 426-З «Об использовании атомной энергии».**

Настоящий Закон регулирует отношения, связанные с размещением, проектированием, сооружением, вводом в эксплуатацию, эксплуатацией, ограничением эксплуатационных характеристик, продлением срока эксплуатации и выводом из эксплуатации ядерной установки и (или) пункта хранения, а также отношения, связанные с обращением с ядерными материалами при эксплуатации ядерной установки и (или) пункта хранения, отработавшими ядерными материалами и (или) эксплуатационными радиоактивными отходами, и иные отношения в области использования атомной энергии.

Деятельность по использованию атомной энергии основывается на принципах:

- приоритета защиты жизни и здоровья настоящего и будущих поколений граждан, охраны окружающей среды перед всеми иными аспектами деятельности по использованию атомной энергии;
- обеспечения превышения выгод для граждан и общества от использования атомной энергии над вредом, который может быть причинен деятельностью по использованию атомной энергии;
- обеспечения ядерной и радиационной безопасности; возмещения вреда, причиненного вредным воздействием ионизирующего излучения либо деятельностью по использованию атомной энергии;
- предоставления полной, достоверной и своевременной информации, связанной с деятельностью по использованию атомной энергии, если эта информация не содержит сведений, составляющих государственные секреты, или не относится к информации, распространение и (или) предоставление которой ограничено;
- запрета на производство ядерного оружия и других ядерных взрывных устройств.

### **3. УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 16 апреля 2021 г. № 153 «О развитии электроэнергетики».**

Устанавливает, что блок-станции, подключенные непосредственно или опосредованно к электрическим сетям энергоснабжающих организаций, электрические станции энергоснабжающих организаций и Белорусская атомная электростанция подлежат единому оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике на основании договоров оказания услуг по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике.

Энергоснабжающие организации и ГПО «Белэнерго» оказывают услуги по:

- распределению электрической энергии, произведенной блок-станциями, по электрическим сетям энергоснабжающих организаций в пределах одной области на основании договора оказания услуг по распределению электрической энергии, заключаемого между владельцем блок-станции и энергоснабжающей организацией, к электрической сети которой непосредственно подключена блок-станция;

- передаче и распределению электрической энергии, произведенной блок-станциями, по электрическим сетям энергоснабжающих организаций в пределах нескольких областей на основании договора оказания услуг по передаче и распределению электрической энергии, заключаемого между владельцем блок-станции установленной электрической мощностью 25 МВт и более, энергоснабжающей организацией, к электрической сети которой непосредственно подключена блок-станция, и ГПО «Белэнерго».

### **4. ДИРЕКТИВА ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 14 июня 2007 г. № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства».**

В Республике Беларусь за истекшее двадцатилетие создана эффективная и динамично развивающаяся экономика, ориентированная на неуклонный рост благосостояния и повышение качества жизни граждан, защиту их материальных, социальных и культурных интересов.

За годы независимости сформирована современная социальная инфраструктура. Последовательно осуществляется курс на инновационное развитие страны, проведена большая работа по внедрению энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Однако экономика не смогла в полной мере среагировать на современные вызовы, обусловленные общемировыми кризисными явлениями, обострением межстрановой конкуренции и нарастающими противоречиями между интеграционными группировками стран.

В сфере экономической безопасности остается ряд проблем, требующих скорейшего решения.

Республика Беларусь по производительности труда отстает от уровня Европейского союза почти в 4–5 раз, что обусловлено не только технико-технологическими причинами, но и проблемами неэффективной занятости, требующими ее реструктуризации с учетом развития малого и среднего предпринимательства.

По-прежнему актуальной является проблема высокой энерго- и материалоемкости производства. Энергоемкость экономики Беларуси по паритету покупательной способности почти на 20 процентов выше среднемирового уровня. По уровню материалоемкости валового выпуска республика неизменно входит в десятку государств Европы с наиболее высокими значениями этого показателя.

В настоящее время наибольшую актуальность в сфере экономической безопасности страны приобретают обеспечение сбалансированного развития организаций и повышение эффективности их работы за счет роста добавленной стоимости, увязки объемов промышленного производства с сокращением запасов готовой продукции и увеличением экспортных поставок товаров, высокоэффективных инвестиционных проектов, а также улучшение финансового состояния промышленных организаций в целях создания условий для устойчивого качественного экономического роста.

В современном мире развитие высокотехнологичных секторов экономики является необходимым, поскольку высокие технологии позволяют повышать и формировать новые конкурентные преимущества не только выпускаемой продукции, но и конкретного государства как носителя современных технологий. Назревшей необходимостью является переход к VI технологическому укладу, который будет определять конкурентоспособность товаров на мировых рынках через 10–15 лет и способствовать увеличению концентрации национальных интеллектуальных ресурсов в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских (опытно-технологических) работ, интеграции в мировые технологические переделы, росту инвестиционных потоков и валового внутреннего продукта страны.

Отсутствие значительного спроса на инновации в отраслях реального сектора, в которых преобладают субъекты хозяйствования государственной формы собственности и, как правило, отсутствует конкурентная среда, не позволило сформироваться национальному рынку научно-технической продукции – ключевому инструменту

продвижения инноваций в национальные экономики развитых стран.

Рост экспортного потенциала страны должен стать основой для обеспечения внешней сбалансированности экономики, положительного счета текущих операций платежного баланса, уровня золотовалютных резервов, соответствующих трехмесячному объему импорта, устойчиво безопасного уровня внешнего долга. Критериями реализации данного приоритета являются рост доли белорусских товаров и услуг на мировом рынке и выход на устойчивое положительное сальдо внешней торговли Республики Беларусь.

Обеспечение энергетической безопасности должно осуществляться путем развития собственной энергосырьевой базы, диверсификации топливно-энергетических ресурсов по видам и странам, снижения энергоемкости валового внутреннего продукта.

*В целях укрепления экономической безопасности государства необходимо:*

*1. Обеспечить планомерную диверсификацию экспорта для достижения равного распределения экспортных поставок между тремя рынками: Евразийского экономического союза, Европейского союза и иных стран, в том числе «дальней дуги», которое к 2020 г. должно составить соотношение треть–треть–треть.*

*2. Создать условия для наращивания выпуска инновационной и высокотехнологичной продукции, созданной с использованием технологий V и VI технологических укладов.*

*3. Обеспечить кардинальное изменение качества управления промышленным комплексом страны в целях поступательного приближения к европейскому уровню производительности труда.*

*4. Обеспечить повышение уровня энергетической безопасности страны.*

**5. КОМПЛЕКСНЫЙ ПЛАН развития электроэнергетической сферы до 2025 г. с учетом ввода Белорусской атомной электростанции. Утвержден Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 01.03.2016 г. № 169.**

*Реализация технических мероприятий:*

– завершение строительства Белорусской атомной электростанции, 2018–2020 гг., Минэнерго, Республиканское унитарное предприятие «Белорусская атомная электростанция» ввод в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции (2400 МВт);

– разработка и реализация подпрограмм (разделов подпрограмм) государственных программ, отраслевой программы развития электро-

энергетики, включающих: 2016–2020 гг., 2021–2025 гг., Минэнерго, ГПО «Белэнерго». Доля доминирующего ресурса (газа) в производстве тепловой и электрической энергии: в 2020 г. – 70 %; в 2025 г. – 60 %;

– сбалансированное развитие и модернизация генерирующих источников на базе внедрения инновационных технологий и вывода из эксплуатации физически и морально устаревшего энергетического оборудования, 2016–2025 гг., Минэнерго. Отношение суммарной установленной мощности к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме: в 2020 г. – 160 %; в 2025 г. – 155 %. Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций по производству электроэнергии: в 2020 г. – не более 43 %; в 2025 г. – менее 45 %;

– строительство и реконструкция электрических сетей и подстанций, в том числе в районах жилой застройки, индивидуальной жилой застройки и в сельских населенных пунктах, в объеме ежегодно – не менее 1500 км. Отношение среднесуточного числа нарушений электроснабжения населенных пунктов к общему количеству населенных пунктов – 0,4 %. Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций по строительству и реконструкции электрических сетей и подстанций: в 2020 г. – 50 % в 2025 г. – 45 %;

– строительство и реконструкция тепловых сетей, в том числе инфраструктуры к жилью (объемы замены тепловых сетей определяются ежегодно с учетом их технического состояния и выделяемого финансирования), 2016–2025 гг., Минэнерго, ГПО «Белэнерго». Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций по строительству и реконструкции тепловых сетей: в 2020 г. – 45 %, в 2025 г. – 45 %;

– интеграция Белорусской атомной электростанции в Объединенную энергетическую систему (табл. 3.4), включающая в том числе: установку электродвигателей на тепловых электрических станциях ГПО «Белэнерго» в 2016–2018 гг., установку электродвигателей в котельных ГПО «Белэнерго» в 2018–2020 гг. Минэнерго. Ввод электродвигателей суммарной мощностью до 535 МВт на ТЭЦ, ввод электродвигателей суммарной мощностью до 450 МВт в котельных;

– предпроектная проработка и установка электродвигателей в котельных организаций, не входящих в состав ГПО «Белэнерго», в 2017–2020 гг., республиканские органы государственного управления и иные государственные организации, подчиненные Правительству

Республики Беларусь, облисполкомы, Минский горисполком. Ввод электрокотлов суммарной мощностью до 200 МВт;

– строительство пиково-резервных энергоисточников на базе газотурбинных установок либо газопоршневых агрегатов в 2016–2020 гг., Минэнерго, ГПО «Белэнерго». Ввод до 800 МВт пиковорезервных мощностей, из них до 400 МВт – в 2018 г.;

– ограничение базового режима работы Белорусской атомной станции в межтопительный период на уровне 80 % от номинальной мощности с 2018 г., Минэнерго, Республиканское унитарное предприятие «Белорусская атомная электростанция», ГПО «Белэнерго», сбалансированная работа Объединенной энергетической системы;

– внедрение систем отопления и горячего водоснабжения с использованием электроэнергии для целей нагрева для объектов нового строительства при наличии технической и экономической целесообразности с 2017 г. Увеличение объемов электропотребления;

– проработка вопроса о развитии зарядной инфраструктуры и электромобильного транспорта в Республике Беларусь в 2016–2017 гг., Минэнерго, ГПО «Белэнерго», оценка потенциала повышения электропотребления при развитии электромобильного транспорта.

Таблица 3.4

#### Мероприятия по режимной интеграции Белорусской АЭС

Мероприятие	Установлен- ная мощность, МВт	Сроки реализации
1. Строительство высокоманевренных энергоисточников на базе ГТУ (4 объекта) (резервные мощности)	800	2020–2022 гг.
2. Установка электрокотлов на 20 объектах энергосистемы всего:	916	2016–2020 гг.
2.1. Строительство электрокотлов на ТЭС энергосистемы (13 объектов) (регулирование суточного графика электропотребления)	720	2019–2020 гг.
2.2. Строительство электрокотлов на котельных энергосистемы (7 объектов) (регулирование суточного графика электропотребления)	196	2019–2020 гг.

Основные показатели Программы комплексной модернизации производств энергетической сферы на 2021–2025 гг. даны в табл. 3.5.



Таблица 3.5

**Основные показатели Программы комплексной  
модернизации производств энергетической сферы на 2021–2025 гг.**

Номер п/п	Наименование показателя	Ожидаемый результат
<b>Генерирующие источники</b>		
.1	1 Отношение суммарной установленной мощности к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме в 2025 г.	194,8 %
.2	1 Доля доминирующего ресурса (природного газа) в производстве тепловой и электрической энергии организациями ГПО «Белэнерго» в 2025 г.	Не более 65 %
.3	1 Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций ГПО «Белэнерго» по производству электроэнергии в 2025 г.	Не более 45 %
.4	1 Ввод ПРЭИ	800 МВт
.5	1 Ввод в эксплуатацию АЭС	2 400 МВт
.6.	1 Модернизация оборудования на ТЭЦ:	
	ввод в эксплуатацию	197,2 МВт
	вывод из эксплуатации	257 МВт
.7	1 Вывод из эксплуатации конденсационных генерирующих источников, в том числе:	1 030 МВт
	– блоки № 3, 4 Березовской ГРЭС	430 МВт
	– блоки № 5, 8 Лукомльской ГРЭС	600 МВт
.8	1 Вывод из эксплуатации (сокращение) неиспользуемого теплогенерирующего оборудования, в том числе:	500 Гкал/ч
	– водогрейных котлов	
	– паровых котлов	2 834 т/ч

.9	1	Доля использования местных видов ТЭР в котельно- печном топливе на объектах организаций ГПО «Белэнерго» в 2025 г.	Не менее 2,4%
.10	1	Доля использования возобновляемых источников энергии в котельно-печном топливе по организациям ГПО «Белэнерго» в 2025 г.	Не менее 1,5 %
.1	2	Удельный вес накопленной амортизации в первоначаль- ной стоимости основных средств организаций ГПО «Белэнерго» по строительству и реконструкции электрических сетей и подстанций в 2025 г.	Не более 45 %
.2	2	Реконструкция (строительство) ВЛ 330 кВ в 2021–2025 гг.	515 км

Номер п/п	Наименование показателя	Ожидаемый результат
2.3	Вывод из эксплуатации электросетевых объектов 220 кВ: – ПС 220 кВ Барановичи-220; – ВЛ 220 кВ Барановичи – Барановичи-220 № 1, 2; – ВЛ 220 кВ Барановичи-220 – Слуцк; – ВЛ 220 кВ Барановичи – Столбцы; – перевод на напряжение 110 кВ; – ВЛ 220 кВ Столбцы – Дубовый Лес	5 объектов
2.4	Реконструкция (строительство) ВЛ 110 кВ в 2021–2025 гг.	600 км
2.5	Реконструкция (строительство) ВЛ 10/0,4 кВ в 2021–2025 гг.	12 343,5 км
2.6	Отношение среднесуточного количества нарушений электроснабжения населенных пунктов за год к общему количеству населенных пунктов в 2025 г.	Не более 0,4 %
2.7	Обеспечение технологического расхода на передачу электроэнергии в электрических сетях в 2025 г.	Не более 8,01 %

**6 КОНЦЕПЦИЯ энергетической безопасности Республики Беларусь. Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 23.12.2015 г. № 1084.**

Концепцией определяется сущность деятельности по обеспечению энергетической безопасности Республики Беларусь (далее – энергетическая безопасность) и надежности энергоснабжения отраслей экономики и населения.

Национальными интересами Республики Беларусь в топливно-энергетической сфере являются:

- обеспечение недискриминационного доступа на мировые рынки товаров и услуг, сырьевых и энергетических ресурсов;
- обеспечение широкого участия и интеграции в мировой ТЭК от добычи до продажи ТЭР конечным потребителям;
- достижение уровня энергетической безопасности, достаточного для нейтрализации внешней зависимости от поступления энергоносителей;
- интенсивное технологическое обновление базовых секторов экономики и внедрение передовых технологий во все сферы жизнедеятельности общества;
- рациональное использование природно-ресурсного потенциала; создание энергетических компаний, способных конкурировать с крупными транснациональными корпорациями;
- развитие собственной энергосырьевой базы на основе экономически обоснованного использования местных видов топлива, прежде всего возобновляемых источников энергии;

– обеспечение приемлемого уровня диверсификации топливно-энергетического баланса страны по видам потребляемых ТЭР и по странам – импортерам ТЭР;

– повышение надежности энергоснабжения всех групп потребителей на основе модернизации действующих генерирующих мощностей и развития сетевой инфраструктуры;

– внедрение современных энергетических технологий в систему энергообеспечения страны; повышение эффективности использования энергии на всех стадиях энергообеспечения – от производства энергии до ее конечного использования; увеличение глубины переработки нефти в нефтеперерабатывающих организациях страны, ориентированное на увеличение производства светлых нефтепродуктов с высокой добавленной стоимостью;

– поэтапное сокращение перекрестного субсидирования в тарифах на энергию и ценах на газ, а также совершенствование системы тарифообразования на энергию в целях стимулирования потребителей к более эффективному использованию энергии; снижение экологической нагрузки ТЭК на окружающую среду за счет внедрения эффективных средств очистки отходящих газов от твердых частиц и диоксида серы, современных средств снижения выбросов оксидов азота и диоксида углерода при сгорании природного газа, мазута, древесины и других видов топлива, а также строительство сооружений для предупреждения нарушений гидрологического режима естественных экологических систем в результате добычи горючих полезных ископаемых.

#### **Основные направления развития топливно-энергетического комплекса Концепции энергетической безопасности РФ:**

– энергетическая самостоятельность;

– диверсификация поставщиков и видов энергоресурсов;

– надежность поставок, резервирование, переработка топливно-энергетических ресурсов;

– энергетическая эффективность производства, распределения и конечного потребления топливно-энергетических ресурсов;

– экономическая доступность топливно-энергетических ресурсов для потребителей;

– интеграция в мировой топливно-энергетический комплекс, развитие сотрудничества с основными торгово-экономическими партнерами, расширение экспорта;

– совершенствование системы управления топливно-энергетического комплекса и его организационной структуры;

– научно-техническое обеспечение.

Прогнозируемые значения основных индикаторов энергетической безопасности на период до 2035 г. определяются по методике расчета индикаторов энергетической безопасности (табл. 3.6)

Таблица 3.6

## Основные индикаторы энергетической безопасности Беларуси

Наименование индикатора	Пороговые уровни			Значения индикаторов по годам				
	нормальный	критический	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Энергетическая самостоятельность								
Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР, %	30	16	14	14	16,7	17	18	20
Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР, %	14	5	5	5	7,4	7	8	9
Диверсификация поставщиков и видов энергоресурсов								
Доля доминирующего поставщика энергоресурсов в общем импорте ТЭР, %	65	85	96	90	93	80	75	70
Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР, %	50	57	64	60	65	55	52	50
Надежность поставок, резервирование, переработка и распределение ТЭР								
Отношение суммарной установленной мощности электростанций к максимальной фактической нагрузке в энергосистеме, %	140	95	127	160	168,8	155	150	145
Удельный вес накопленной амортизации в первоначальной стоимости основных средств организаций ТЭК, %	45	75	48	46	48	<45	<45	<45
Доля доминирующего энергоресурса (газа) в производстве тепловой и электрической энергии, %	50	80	91,4	90	93,1	96	95	<50
Энергетическая эффективность конечного потребления ТЭР и экономическая устойчивость ТЭК								
Энергоемкость ВВП (в ценах 2005 года), килограммов условного топлива/млн. руб.	12060	1485	426	378	366	353	317	268

Отношение стоимости импорта энергетических товаров к ВВП, %	5	1	0	3	1,7	2	0	2	1	1	8	1	7	1	5	1
--	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

Прогнозные показатели развития по виду деятельности на период до 2025 г. приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

**Прогнозные показатели развития по виду деятельности  
на период до 2025 г.**

Показатели		Единица измерения	2020 г. (темпы роста к 2015 г.)	2021– 2025 гг. прогноз
<b>Свободные показатели</b>				
Темп роста объема производства продукции		%	103,3	111,1
Темп роста валовой добавленной стоимости		%	103,9	110,9
Темп роста уровня производительности труда (по валовой добавленной стоимости на одного среднесписочного работника)		%	114,1	107,8
Темп роста инвестиций в основную капитал	ГПО «Белэнерго»	%	101,1	155,1
	ГПО «Белтопгаз»	%	180,4	100,4
Среднесписочная численность работников, занятых видом деятельности		тыс. чел.	88,0	90,5
Численность работников, принятых на дополнительные введенные рабочие места, в том числе высокопроизводительные		чел.	138	22
		чел.	20	0
Темпы роста экспорта продукции		%	200	–
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух по организациям ГПО «Белэнерго» и ГПО «Белтопгаз»		тыс. т	37,5	27
<b>Специализированные показатели</b>				
Объем импорта природного газа		млрд м³	18,76	17,42

Объем поставки природного газа через газораспределительную систему ГПО «Белтопгаз»	млр д м <sup>3</sup>	17,95	16, 17
---	-------------------------	-------	-----------

**7. КОНЦЕПЦИЯ развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 г. Утверждена Министерством энергетики Республики Беларусь 25 февраля 2020 г. № 7.**

Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 г. является механизмом реализа-



ции положений Концепции энергетической безопасности и описывает базовый сценарий развития Объединенной энергетической системы.

При определении направлений развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей в Республике Беларусь проанализированы основные тренды мировой электроэнергетики в прогнозируемом периоде.

Анализ тенденций развития электроэнергетики сопредельных государств и возможных направлений экспорта электрической энергии показывает, что после 2025 г. при условии создания объединенного рынка природного газа Российской Федерации и Республики Беларусь с выравниванием цен на него значительно возрастает возможность экспорта из-за снижения топливной составляющей в себестоимости производства белорусской электроэнергии и, соответственно, повышения ее конкурентоспособности на рынке России. После ввода с 01.07.2019 г. новой модели рынка электроэнергии Украины сложились условия для организации поставок электроэнергии из Республики Беларусь. В случае реализации планируемой технической и экономической интеграции в 2023 г. энергосистем Украины и ЕС прогнозируется рост цены на электрическую энергию на украинском рынке, что может служить толчком к возможности роста экспорта электроэнергии из Республики Беларусь в Украину. Также существуют экономические предпосылки возможности экспорта электроэнергии в Польшу, которые существенно обусловлены политической конъюнктурой со стороны Литвы и Польши.

Несмотря на существующие сильные электрические связи текущая политическая ситуация с позицией Литвы по строительству Белорусской АЭС не позволяет рассчитывать на возможность достижения договоренностей по созданию ВПТ и, соответственно, возможные экспортные поставки электрической энергии после 2025 г.

Установленная мощность Белорусской энергосистемы на 01.01.2019 г. составила 10 068,68 МВт, в том числе электрическая мощность трех КЭС – 4 704,2 МВт, 14 ТЭЦ более 50 МВт – 3 856,2 МВт, ТЭЦ менее 50 МВт – 237,7 МВт, мини-ТЭЦ и реконструированных котельных – 22,8 МВт, ГЭС и ВЭУ – 97,8 МВт, локальных источников, не входящих в состав ГПО «Белэнерго», – 1 130,3 МВт (из них ВИЭ – 293,2 МВт). Доля блок-станций в общей мощности энергосистемы – 11,2 %.

Начиная с 2006 г., проводится системная модернизация основных производственных активов, а с 2016 г. реализуется комплекс ме-

роприятий, позволяющий эффективно интегрировать АЭС в энергосистему.

Для определения направлений развития энергосистемы разработаны прогнозные балансы электрической и тепловой энергии.

Планируется рост электропотребления до уровня 43,7 млрд. кВт · ч – в 2025 г. и 47,2 млрд. кВт · ч – в 2030 г., уровень выработки тепловой энергии на энергоисточниках организаций ГПО «Белэнерго» в прогнозируемом периоде будет постоянным и составит около 34 млн Гкал, объемы роста его потребления будут компенсироваться внедрением мероприятий по энергоэффективности.

В прогнозируемом периоде с учетом существующих объемов установленных мощностей, необходимости возврата кредитных средств, затраченных на модернизацию, и вероятного установления ценовых паритетов на природный газ рамках рынка ЕАЭС целесообразно:

- оптимизировать состав оборудования генерирующих источников с учетом необходимости поддержания нормативных резервов в энергосистеме и соблюдения требуемых индикаторов энергетической безопасности;

- пересмотреть подходы к поддержанию в эксплуатации изношенного и (или) неэксплуатируемого котельного оборудования, особенно в части пиковых водогрейных котлов с учетом ввода электрокотлов в крупных теплофикационных системах;

- осуществлять поддержку и развитие инфраструктуры электрических сетей с учетом возможности расширения экспорта электрической энергии.

Системообразующая сеть ОЭС Беларуси сформирована на напряжении 220–750 кВ. При этом реализуется концепция отказа от класса напряжения 220 кВ. Анализ износа линий электропередачи указывает на необходимость модернизации линий 110 кВ.

В рамках развития электрических сетей до 2025 г. предусматривается реконструкция: ПС 330 кВ – Барановичи, Орша, Столбцы, Белорусская, Сморгонь, Минск Северная, Могилев, Калийная; строительство ПС 330 кВ – Петриков; сооружение ВЛ 330 кВ – Белоозерск – Пинск – Микашевичи (75 км и 102 км), ВЛ 330 кВ – Столбцы – Барановичи (69,9 км), захода-выхода ВЛ 330 кВ – Калийная – Мозырь на ПС 330 кВ – Петриков (2 x 0,55 км). До 2030 г. предусматривается реконструкция ПС 330 кВ – Полоцк, Лида, Мозырь, Микашевичи, Гродно, Россь, Слуцк, ПС 220 кВ – Пинск с переводом на напряжение 330 кВ.

Ключевым направлением развития распределительных электрических сетей напряжением 0,4–10 (6) кВ является их автоматизация, реализуемая в рамках реконструкции.

При отделении энергосистем Балтии и Украины сохранение надежной работы ОЭС Беларуси без отключения потребителей в случае одновременного аварийного отключения двух энергоблоков Белорусской АЭС возможно только путем дополнительного сетевого строительства с ЕЭС России (при экономической целесообразности) или организации ВПТ на других межгосударственных связях с возможностью использования по ним аварийного резерва мощности.

Для организации ВПТ могут рассматриваться существующие межсистемные связи по сети 330 кВ между ОЭС Беларуси и ЭС Литвы (ВЛ 330 кВ – Поставы – Игналинская АЭС № 1, № 2 и участок ВЛ № 3, Гродно – Алитус), ОЭС Беларуси и ОЭС Украины (ВЛ 330 кВ – Мозырь – Чернобыльская АЭС, Гомель – Чернигов), пропускная способность которых должна определяться при конкретной реализации проекта. Сооружение ВПТ между ОЭС Беларуси и ЭС Литвы целесообразно рассматривать в случае изменения позиции Литвы относительно ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС.

Развитие и модернизацию систем теплоснабжения и тепловых сетей планируется осуществлять с учетом минимизации эксплуатируемого оборудования тепловых электрических станций и котельных энергосистемы при условии сохранения отпуска тепловой энергии потребителям. Для поддержания уровня износа на уровне 40 % необходимый объем ежегодной замены тепловых сетей в ГПО «Белэнерго» должен составлять 250–280 км в однотрубном исчислении. Поскольку в 2016–2018 гг. объем замены тепловых сетей составлял 130–150 км в год, необходимо нарастить темп замены с доведением до необходимого объема уже в 2025 г. Основным направлением в развитии систем теплоснабжения станет их комплексная автоматизация с формированием единых информационных систем при использовании технологий интеллектуальных сетей, ориентированных на автоматизацию организационных и технологических процессов централизованного теплоснабжения городов.

Развитие законодательной и нормативной базы функционирования энергетической системы Республики Беларусь будет осуществляться с учетом принятых и планируемых к принятию в ЕАЭС и иных международных объединениях документов.

Реализация положений Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 г. окажет влияние на значения ряда индикаторов энергетической безопас-

ности. Вместе с тем проведенный при подготовке данного документа анализ прогнозируемых значений индикаторов с учетом перехода на методологию расчета МЭА, необходимости ввода пиково-резервных мощностей и электрокотлов для интеграции АЭС в энергосистему, прогнозируемых объемов производства электроэнергии от АЭС и соответствующих поставок импортируемого природного газа показал необходимость актуализации методик расчета ряда индикаторов, что повлечет изменение их нормативных параметров.

Приведенные в данной концепции меры и мероприятия могут быть скорректированы в среднесрочных программных документах в соответствии с условиями и параметрами развития экономики.

Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 г. обеспечивает комплексный и системный подход к развитию электроэнергетической сферы, нацеленность на реализацию задач и параметров энергетической безопасности, устойчивое экономическое развитие страны.

## Литература

1. Закон Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 425-3 (ред. от 11.05.2016 г. № 364-3) «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь». – Минск, 2012. – URL: <http://gknt.gov.by/rules/pravovye-akty-respubliki-belarus-v-sferakh-nauchnoy-nauchno-tehnicheskoy-i-innovatsionnoy-deyatelnosti> (дата обращения: 19.07.2022).

2. Указ Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы». – Минск, 2021. – URL: <http://gknt.gov.by/rules/pravovye-akty-respubliki-belarus-v-sferakh-nauchnoy-nauchno-tehnicheskoy-i-innovatsionnoy-deyatelnosti> (дата обращения: 19.07.2022).

3. Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы». – Минск, 2020. – URL: <http://gknt.gov.by/rules/pravovye-akty-respubliki-belarus-v-sferakh-nauchnoy-nauchno-tehnicheskoy-i-innovatsionnoy-deyatelnosti> (дата обращения: 19.07.2022).

4. Закон Республики Беларусь от 19 января 1993 г. № 2105-ХП «Об основах государственной научно-технической политики». –

Минск, 1993. – URL: <http://gknt.gov.by/rules/pravovye-akty-respubliki-belarus-v-sferakh-nauchnoy-nauchno-tekhnicheskoy-i-innovatsionnoy-deyatelnosti> (дата обращения: 19.07.2022).

5. Технологический уклад. – Минск, 2017. – URL: <https://dic.-academic.ru/dic.nsf/ruwiki/14058229> (дата обращения: 19.07.2022).

6. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года. – Минск, 2017. – URL: [http://scienceportal.org.by/upload/2015/-Agust/National\\_Strategy\\_of\\_Social\\_and\\_Economic\\_Development\\_2030.pdf](http://scienceportal.org.by/upload/2015/-Agust/National_Strategy_of_Social_and_Economic_Development_2030.pdf) (дата обращения: 19.07.2022).

7. Концепция Государственной программы инновационного развития на 2016–2020 годы. – Минск, 2017. – URL: [http://gknt.gov.by/opencms/opencms/ru/Documents/GPIR\\_2016\\_2020.doc](http://gknt.gov.by/opencms/opencms/ru/Documents/GPIR_2016_2020.doc) (дата обращения: 19.07.2022).

8. Государственная программа инновационного развития. – Минск, 2017. – URL: [http://gknt.gov.by/opencms/opencms/ru/Documents/Zakonadatelstvo\\_documents/U-20170131-31.rtf](http://gknt.gov.by/opencms/opencms/ru/Documents/Zakonadatelstvo_documents/U-20170131-31.rtf) (дата обращения: 19.07.2022).

9. Методические рекомендации по отнесению технологий к V и VI технологическим укладам : утв. Приказом Гос. ком. по науке и технологиям Респ. Беларусь 6 июня 2017 г. № 166.

10. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (2030 г.): концептуальные подходы, направления, прогнозные оценки и условия реализации. – М. – РАН, 2008.

11. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 17 нояб. 2008 г. № 1662-р.

12. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 13 нояб. 2009 г. №1715-р. // Прил. к обществ.-дел. журн. «Энергетическая политика». – М. : ГУ ИЭС, 2010. – 184 с.

13. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федер. закон : принят Гос. Думой 23 ноября 2009 г. № 261.

14. Закон Республики Беларусь от 8 января 2015 г. № 239-З «Об энергосбережении». – Минск, 2015. – URL: <https://minenergo.gov.by/-law/zakony-respubliki-belarus/> (дата обращения: 19.07.2022).

15. Закон Республики Беларусь 30 июля 2008 г. N 426-З Об использовании атомной энергии. – URL: <https://minenergo.gov.by/law/zakony-respubliki-belarus/>. – Минск, 2008 (дата обращения: 19.07.2022).

16. Указ Президента Республики Беларусь от 16 апреля 2021 г. № 153 О развитии электроэнергетики. – Минск, 2021. – URL: <https://minenergo.gov.by/law/zakony-respubliki-belarus/> (дата обращения: 19.07.2022).

17. Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства». – URL: <https://minenergo.gov.by/law/zakony-respubliki-belarus/>. – Минск, 2007 (дата обращения: 19.07.2022).

18. Комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции : утв. Постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 01.03.2016 г. № 169. – Минск, 2016. – URL: <https://minenergo.gov.by/law/zakony-respubliki-belarus/> (дата обращения: 19.07.2022).

19. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь. Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.12.2015 № 1084. – Минск, 2015. – URL: <https://minenergo.gov.by/law/zakony-respubliki-belarus/>. (дата обращения: 19.07.2022).

20. Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года : утв. Мин-ом энергетики Республики Беларусь 25 февраля 2020 № 7. – Минск, 2020. – URL: <https://minenergo.gov.by/law/zakony-respubliki-belarus/> (дата обращения: 19.07.2022).

## **Глава 4. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВШЕСТВ**

**4.1. Нормативно-методическое обеспечение оценки эффективности инвестирования инновационных проектов. 4.2. Основные показатели достоинства проектов. 4.3. Тех-  
нико-экономическая оценка инвестиционных проектов. 4.4. Оценка инвестиционных проектов в условиях тождества результата. 4.5. Степень экономичности сопоставляемых результатов. 4.6. Отступления от оптимального варианта. 4.7. Приведение вариантов к сопоставимому виду. 4.8. Нормативно-параметрические методы определения технико-экономических показателей новшеств. 4.9. Функционально-стоимостной анализ применения новшеств. 4.10. Риски инновационной деятельности. 4.11. Метод рас-  
становки приоритетов для выбора целесообразного варианта новшества в системах электроснабжения военных объектов. 4.12. Управление инновационными процессами в энергетике.**

### **4.1. Нормативно-методическое обеспечение оценки эффективности инвестирования инновационных проектов**

В соответствии с белорусским законодательством, разработка и обоснование инвестиционных проектов осуществляется в соответствии с «Правилами по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов» (далее – «Правила»), утвержденными постановлением Министерства экономики Республики Беларусь № 158 от 31.08.2005 г., т. е., по сути, речь идет о локальном нормативно-правовом акте, который составлен по требованиям белорусского законодательства и Министерства экономики Беларуси, а не по международным требованиям или методикам, признанным в других странах.

Изучение зарубежных методик и методов оценки эффективности инвестиционных проектов позволит выявить «узкие места» и неточности методических подходов, используемых в Республике Беларусь, что в полной мере соответствует реализации проектно-целевого

принципа развития экономики [1]. Теоретико-методическим аспектам изучения методик бизнес-планирования и оценки эффективности инвестиционных проектов, а также их практического применения посвящены труды отечественных и зарубежных ученых: в части управления проектами и инвестиционными объектами – Э. Верзух, И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Б. Л. Вольфсон (2017 г.), Дж. Сазерленд (2021 г.); по фундаментальным положениям теории оценки инвестиций и проектов – В. С. Esty, Т. R. Malthus, F. M. Odigliani, S. C. Mayers, N. S. Majluf (1984 г.), М. Н. Miller (1977 г.), Р. С. Хиггинс, М. Раймерс (2007 г.). Существенный вклад в развитие практических аспектов применения методов оценки инвестиционных проектов и вложений внесли Г. Д. Антонов, Р. Брейли, П. Л. Виленский, Дж. Мендельсон, Л. Крушвиц, С. Майерс, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк, Б. Фелд. Изучению проблем практического применения методологии оценки эффективности инвестиционных и инновационных проектов посвящены труды Р. Абрамса, А. А. Бевзелюка, В. Беренса, В. Л. Горбунова, П. Ковалева (2017 г.), М. И. Лисовского (Лисовский, Голикова, Чернорук, 2014 г.), П. М. Хавранека, Б. Форда и др. (Esty, 1999 г., 2002 г.; Milliner, 2017 г.; Higgins, Koski, Mitton, 2019 г.; Behrens, Hawranek, 1991 г.; Бевзелюк, 2008 г.; Форд, Борнстайн, Пруэтт, 2010 г.). Однако на данный момент не проводились исследования, предполагающие комплексный сравнительный анализ методик и методов оценки эффективности инвестиционно-проектной деятельности, а также рассмотрение возможности синхронизации белорусской методики с общепризнанными и широко применяемыми в мире. Безусловно, достичь полного соответствия невозможно, но следует устранить имеющиеся противоречия в построении структурных элементов бизнес-плана и расчете показателей оценки эффективности инвестиционного проекта. Это позволит привлечь в национальные проекты иностранных инвесторов, средства международных финансовых организаций и банков. Вместе с тем именно совершенствование бизнес-планирования инвестиций в решающей мере определяет перспективы развития организаций и экономики в целом (Davies, Mackenzie, 2014 г.). Методические недостатки структуры бизнес-плана и показателей оценки эффективности инвестиционных проектов, а также несоответствие национальных методик и методов общепринятым международным являются тормозом экономического развития.

Мировая практика насчитывает значительное количество различных методик (Morris, Pinto, Soderlund, 2011 г.) и нормативно-правовой документации, предназначенных для оценки эффективности



инвестиционной проектной деятельности субъектов экономики. Единой универсальной методики разработки бизнес-плана проекта в мире не существует. Требования к обоснованию зависят от вида проекта, привлечения в качестве средств его финансирования национального или международного кредита, формы собственности и др. Пользователями методик являются все заинтересованные субъекты экономики: организации, инвесторы, разработчики, финансовые структуры (банки) и другие, т. е. все те, кто заинтересован тем или иным образом в реализации инвестиционного проекта. Требования к проектам у пользователей могут различаться, поэтому существует такое многообразие методик (например, международные финансовые структуры предъявляют свои требования к проектам). Наиболее часто используемые методики и нормативно-правовые документы, регулирующие порядок разработки бизнес-плана и оценку эффективности инвестиционных проектов, представлены в табл. 4.1. Методики обоснования и оценки инвестиционных проектов условно можно разделить на национальные и международные. Следует отметить, что один из крупнейших банков, специализирующихся на финансировании инвестиционных и инновационных проектов в Беларуси, ОАО «Банк реконструкции и развития», также придерживается методики, описанной в «Правилах» Министерства экономики РБ. Собственных методик по разработке бизнес-плана инвестиционных проектов, консалтинговые компании или банки в Республике Беларусь не имеют. В случае, если инвестор или международная финансовая организация участвует в финансировании проекта, то он может быть рассчитан по методике UNIDO или любой другой. В Российской Федерации применяется схожий подход. Сфера инвестиционного проектирования получила развитие с момента утверждения Постановления Правительства РФ № 1470 от 22.11.1997 г. Затем последовал ряд иных, дополняющих и регулирующих разработку, обоснование и оценку нормативно-правовых документов 11 (табл. 4.1). Кроме того, в российской практике инвестиционного бизнес-планирования широкое применение получили методики консалтинговых компаний (Альт-Инвест, ТПП и др.), а также отраслевые (корпоративные) методики (Газпром, Роснефть, РЖД и др.) и методики банков (Сбербанк, ВТБ, Внешэкономбанк и др.). Отдельно следует выделить методику российской консалтинговой компании Альт-Инвест<sup>12</sup>, специализирующейся на стратегическом финансовом анализе и планировании. Программный продукт Альт-Инвест фактически стал стандартом для моделирования инвестиционных проектов. Основным преимуществом методики Альт-

Инвест является адаптация методов и форм международных методик к российским экономическим условиям.

Поскольку модель развития белорусской экономики во многом ориентируется на Российскую Федерацию, более детального изучения требует структура методики Альт-Инвест для сравнения ее элементов с «Правилами». Авторская классификация методик исходит из представления нормативно-правовой базы Беларуси и Российской Федерации. На контрасте можно наблюдать, что в России в отличие от Беларуси широкое применение получили отраслевые (корпоративные) и банковские методики, а также методики известных консалтинговых компаний, например, Альт-Инвест.

Международные методики сгруппированы с позиции их известности и значимости в мире. Наиболее известные методики принято называть публичными – это Методика UNIDO, Методика TACIS, Методика BFM Group, отдельно в мире выделяют методики институтов и консалтинговых компаний и корпоративные банковские методики (это общепринятый подход). Методика UNIDO13 (United Nations Industrial Development – Организация Объединенных Наций по промышленному развитию) разработана В. Беренсом и П. М. Хавранekom в форме «Руководства по подготовке промышленных технико-экономических исследований», основная цель которого – унификация стандартов для оценки проектов в развивающихся странах. Особенностью данной методики является то, что над ней работали известнейшие экономисты и ученые-практики. В дальнейшем методика была дополнена Х. Р. Армом в части «руководства концепции стратегической ориентации», принципов анализа рынка и концепции маркетинга. Р. Ирвин внес существенный вклад в методику прогнозирования спроса и выбор методов исследований. Анализ требований к техническому обслуживанию и замене оборудования, изложение вопросов организационной структуры, обучения персонала и планирование осуществления проекта выполнены Б. Кнауэром. Раном К. Д. Б. Сингхом была дополнена глава, посвященная проектам и технологическим аспектам. Информация относительно оценки воздействия проекта на окружающую среду была представлена Р. Шенстайном, Г. Шернером и Д. Зусманом (Behrens, Hawranek, 1991 г.).

Таблица 4.1

**Методики и нормативно-правовые документы, регулирующие порядок разработки бизнес-плана  
и оценку эффективности инвестиционных проектов**

Республика Беларусь (национальные)	Российская Федерация			Международные методики		
	Национальные	Институты и консалтинг	Отраслевые (корпоративные) и банковские	Общепринятые методики	Институты и консалтинг	Корпоративные и банковские
«Правила по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов», утв. Постановлением Министерства экономики Республики Беларусь № 158 от 31.08.2005 г. Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 506 «О бизнес-планах инвестиционных проектов» от 26.05.2014 г.	Постановление Правительства РФ № 1470 от 22.11.1997 г. Методика № ВК 477 (2-я ред.) от 21.06.1999 г. Постановление Правительства РФ № 590 от 12.08.2008 г. Приказ Министерства экономического развития России № 58 от 24.02.2009 г. Приказ Министерство региона РФ № 493 от 30.10.2009 г. Приказ Министерство экономического развития России № 741 от 14.12.2013 г. Постановление	Методика АльтИнвест. Методика по разработке бизнес-планов ТПП. Методика № ВК477 (3-я ред.) от 21.06.1999 г.	Методики банков: Сбербанк, ВТБ, Альфа-банк, Внешэкономбанк Методики крупных компаний: Газпром, Роснефть, Автодор, Русал, РЖД	UNIDO, TACIS, BFM Group	KPMG, Ernst & Young, Goldman Sachs & Co. PW C, Deloitte	Всемирного банка (МБРР, МФК), ЕБРР, МВФ

	Правительства РФ № 1044 от 11.10.2014 г. Федеральный за- кон № 224-ФЗ от 13.07.2015 г. Постановление Правитель- ства РФ № 563 от 12.05.2017 г.					
--	---	--	--	--	--	--

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

В настоящее время методика UNIDO является своего рода международным «эталонном» для разработки технико-экономического обоснования, разделов бизнес-плана и оценки эффективности инвестиционного проекта. Методика UNIDO по сути опирается на поиск оптимальных решений по планированию и достаточно тесно связана с планированием развития страны, исходит из того, что успешное развитие государства возможно только при улучшении распределения ресурсов внутри экономики. Безусловный интерес к более тщательному изучению структуры данной методики исходит из ее популярности и общественного признания в мире со стороны заказчиков, инвесторов и остальных стейк-холдеров проекта. К публичным общепринятым методикам относятся также методики TACIS и BFM Group, которые предъявляют свои требования к обоснованию разделов бизнес-плана и оценке эффективности инвестиционного проекта. Методика TACIS 14 разработана при поддержке ЕС и представляет собой практический инструмент для непосредственного проведения оценки проектных предложений. Однако по сравнению с методикой BFM Group TACIS менее распространена и представляет собой скорее «урезанный» вариант UNIDO. Гораздо больший интерес представляет методика BFM Group, известной международной инвестиционно-проектной компании, которая специализируется на предоставлении полного комплекса услуг по подготовке инвестиционных проектов к привлечению капитала. BFM Group уже много лет работает на рынках ЕС, ЕАЭС, Швейцарии, Украины и других стран. Именно масштабность и известность данной методики требует изучения ее структуры и применяемых методов оценки эффективности проектной деятельности. Свои методики инвестиционно-проектной деятельности имеют также крупные финансово-кредитные организации: например, Всемирный банк (ВБ) (включает требования Мирового банка реконструкции и развития (МБРР) и Международной финансовой корпорации (МФК)), Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР) и Международный валютный фонд (МВФ). Выбор международной методики во многом зависит от желания инвестора и схемы финансирования проекта. Как правило, если реализация проекта осуществляется под эгидой определенной международной финансовой структуры, то именно ее методика и должна быть применена для обоснования и оценки проекта. Что касается методики ВБ, то она также широко известна в мире и имеет предпочтения у иностранных инвесторов; оценка проекта осуществляется с позиции «государства»,

под которым понимается единая система из элементов в виде органов государственного управления, компаний и населения страны. Оценить влияние на экономику в целом расчет проекта по методике ВБ не представляется возможным, так как методика носит «усеченную форму» и предназначена только для вынесения первичного решения о принятии или отказе от проекта. Если проект принимается к реализации, его дополняют расчетами финансово-экономической части, как правило, применяя более детализированную методику МБРР или МФК, в зависимости от стороны, осуществляющей кредитование. К международным также относятся методики, предложенные «большой четверкой»: KPMG, EY, Deloitte, PWC и другие, которые являются крупнейшими аудиторскими компаниями в мире. При этом самая крупная из международных интернациональных компаний, оказывающих услуги консалтинга в инвестиционном бизнес-планировании, – KPMG. В рамках подхода, применяемого KPMG, инвестиционный проект является одновременно и управленческим инструментом,

и инструментом продаж. В соответствии с методикой консалтинговой компании Deloitte<sup>18</sup>, инвестиционный проект ориентирован одновременно на внешние и внутренние задачи, а также на кредитора для получения овердрафтов, кредитов, грантов, венчурного инвестирования и др. Инвестиционный проект должен отражать текущее состояние, потребности и будущие перспективы. Ernst & Young (EY) – британская аудиторская консалтинговая компания, занимающаяся бизнес-планированием инвестиционных проектов, ее методика отличается краткостью, лаконичностью и основана на подвижности изменений в бизнес-среде (Форд, Борнстайн, Пруэтт, 2010 г.). Ориентация исключительно на динамический подход отличает данную методику от других. Согласно методике PWC, инвестиционное бизнес-планирование требует проведения спецификации конкретной отрасли и компании и обоснования реальной рыночной информации.

Методика UNIDO представляет собой оценку способности предлагаемого проекта быть успешно реализованным и завершенным, т. е., по сути, в методике приводится анализ возможностей бизнеса, включая анализ технической, экономической, правовой, оперативной и календарной осуществимости проекта. Кроме того, в методике UNIDO основное внимание уделено анализу размера потенциального рынка; наличию и ценам поставщиков и дистрибьюторов; предпринимательской способности; производственному плану; маркетинго-

вым стратегиям; управленческой команде и глубоким финансовым прогнозам. Отличительной особенностью методики является особое внимание таким аспектам, как патентоспособность, лицензирование, безопасность и экологичность продукции или услуг по проекту. Таким образом, методика UNIDO сосредоточена на инжиниринговых и производственных процессах, а также на финансовых результатах, практически каждый раздел включает смету затрат. Эта структура инвестиционного проекта в первую очередь очень удобна для промышленных коммерческих проектов (Behrens, Nawranek, 1991 г.). Одним из важнейших средств выбора оптимального варианта из многих возможных решений служит их экономическая оценка. Значение экономической оценки решений возрастает в условиях рыночной экономики.

*Во-первых*, нужно учитывать, что одна из характерных черт рыночных отношений – прагматизм, следуя которому любая ценность материального или нематериального характера представляет интерес лишь с позиций достижения с ее помощью определенных целей, прежде всего экономического характера.

*Во-вторых*, при оценке решений должны быть использованы сегодняшние методики, соответствующие рыночным отношениям.

Как правило, на реализацию новшеств требуются вложения денежных средств. Таким образом, осуществление этих мероприятий следует рассматривать как *инвестиционный процесс*, в основе анализа которого лежат оценка и сравнение объема предполагаемых инвестиций и будущих денежных поступлений. Эта оценка осуществляется при помощи двух связанных друг с другом экономических категорий: *экономического эффекта* и *экономической эффективности*.

В Российской Федерации основным документом по применению этих категорий оценки результатов решений служат *Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (2-я редакция, утвержденная Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ и Госстроем РФ 21 июня 1999 г.)* [2]. В данных рекомендациях учтены требования применяемой в мировой практике методики оценки эффективности инвестиционных проектов, рекомендованной Организацией ООН по промышленному развитию ЮНИДО.

UNIDO – United Nations Industrial Development Organization. Не являясь по своей сути догмой, методика ЮНИДО выполняет роль единой базы, некоего универсального языка, позволяющего общаться между собой специалистам в области инвестиционного проектирова-

ния, финансового анализа, менеджерам компаний из различных стран мира. Большинство известных на данный момент компьютерных систем для бизнес-планирования опираются на методику ЮНИДО.

При принятии решения об инвестировании инновационного проекта энергетическое предприятие или организация может преследовать различные цели. Для предприятия, как правило, главная цель — прибыльность инвестиций в размере не менее нормы рентабельности. Могут быть и другие цели, например:

- увеличение или сохранение доли контролируемого рынка;
- поддержание и улучшение репутации у потребителей;
- улучшение качества электроэнергии или другой продукции и т. п.

В Методических рекомендациях [0] эффективность инвестиционного проекта (ИП) рассматривается как «категория, отражающая соответствие проекта, порождающего этот ИП, целям и интересам участников проекта».

Наряду с общей эффективностью функционирования системы используется частная эффективность ее отдельных элементов и факторов, воздействующих на нее. Мерой частной эффективности служит ее вклад в общую эффективность. Примерами показателей служат эффективность факторов производства, эффективность капитальных вложений, производительность труда, фондо емкость, фондоотдача и др.

Согласно Методическим рекомендациям [220], эффективность ИП может оцениваться как количественными (показателями эффективности), так и качественными («эффективный» или «неэффективный» проект) характеристиками.

Реализуемость ИП и эффективность участия в проекте следует проверять с использованием прогнозных цен и в тех валютах, в которых эти ИП осуществляются.

Показатели эффективности всегда относятся к некоторому субъекту:

- показатели общественной эффективности — к обществу в целом (в тех случаях, когда ИП затрагивает интересы не одной страны, а нескольких, общественная эффективность характеризует проект с точки зрения всей системы в целом. В случае же «чисто российского» ИП общественная эффективность совпадает с народнохозяйственной);
- показатели коммерческой эффективности проекта — к реальному или абстрактному юридическому или физическому лицу, осуществляющему проект целиком за свой счет;
- показатели эффективности участия предприятия в проекте —



для этого предприятия; показатели эффективности инвестирования в акции предприятия – для акционеров акционерных предприятий – участников проекта (при условиях, оговоренных в [0]);

- показатели эффективности для структур более высокого уровня – к этим структурам;

- показатели бюджетной эффективности – к бюджетам всех уровней.

Показатели эффективности, относящиеся ко всему периоду реализации проекта, как отмечалось ранее, называются интегральными (в названиях отдельных показателей это определение иногда опускается). Интегральные показатели эффективности используются в следующих целях:

- оценка выгоды от реализации проекта или участия в нем;
- выявление граничных условий эффективной реализации проекта;
- оценка риска, связанного с реализацией проекта;
- оценка устойчивости проекта (сохранения его выгоды и финансовой реализуемости) при случайных колебаниях рыночной конъюнктуры и других внешних условий реализации;

- экономическая оценка результатов выбора одного из альтернативных проектов (вариантов проекта) или выбора группы независимых проектов из заданного перечня при ограниченном количестве денежных ресурсов.

Рекомендуется оценивать следующие виды эффективности:

- эффективность проекта в целом;
- эффективность участия в проекте.

На первом этапе оценки эффективности проекта рассчитываются показатели эффективности проекта в целом. Цель этапа – агрегированная экономическая оценка проектных решений и создание необходимых условий для поиска инвесторов. И если эффективность проекта оказывается приемлемой, рекомендуется переходить непосредственно ко второму этапу оценки.

Второй этап оценки осуществляется после выработки схемы финансирования. На этом этапе уточняется состав участников и определяются финансовая реализуемость и эффективность участия в проекте каждого из них, кроме кредиторов, для которых эффективность определяется процентом за кредит. Основным документом, регламентирующим технико-экономические расчеты в российской практике являются Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов [220], выпущенные в 2000 г. и которые пол-

ностью соответствуют методике UNIDO.

Согласно этому документу в основе принятия решения о приемлемости проекта лежит определение его ценности.

Ценность проекта – это разница между выгодами, которые он сулит, и затратами на его реализацию и эксплуатацию, т. е.

$$\mathcal{E}_T = P_T - Z_T, \quad (4.1)$$

где  $\mathcal{E}_T$  – ценность или эффект по проекту;  $P_T$  – выгоды или поступления по проекту;  $Z_T$  – затраты или расходы по проекту;  $t$  – горизонт расчета.

**Поступления** складываются из всех платежей за произведенную по проекту продукцию и оказанные услуги. Сюда включены продажи за наличные, по которым деньги уже получены, и продажи, по которым платежи еще не поступили, но покупатели стали должниками. Доходы от продажи планируются путем умножения прогнозируемого объема реализации продукции проекта на рыночные или контролируемые цены. К прочим поступлениям относятся субсидии и иные доходы (например, арендная плата за пользование собственностью проекта), которые, вместе с доходами от продаж, дают полную сумму текущих поступлений. В сумму поступлений входит также выручка от продажи активов проекта.

Расходы равняются всем платежам за товары и услуги, используемые для выпуска продукции проекта, и делятся на две группы: **эксплуатационные расходы и капитальные затраты**.

В эксплуатационные расходы входят оплата труда, материалов и топлива, арендная плата, оплата коммунальных, общих и административных услуг, налоги, а также платежи за иные товары или услуги, необходимые для выпуска продукции проекта. Эксплуатационные расходы, в том числе расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт, имеют место каждый год, начиная с первого дня ввода проекта в эксплуатацию. Эксплуатационные расходы оплачиваются из общих доходов предприятия. Как и доходы, подсчитываемые за каждый период, эксплуатационные (текущие) расходы включают также еще неоплаченную задолженность за оказанные проекту услуги. Примером могут служить счета за коммунальные услуги, которые оплачивают за прошедший месяц пользования теплом или электроэнергией.

Капитальными затратами являются **инвестиции**, необходимые для осуществления проекта, К ним также относятся расходы на заме-

ну или модернизацию фондов, которые изнашивались в ходе хозяйственной деятельности проекта, а также расходы на капитальный ремонт для поддержания в рабочем состоянии фондов проекта в период проведения анализа. Если, например, анализ охватывает 10 или 20 лет, то возможно, что оборудование пришлось заменить не один раз, а инфраструктура и другие основные сооружения нуждаются в реконструкции.

Для оценки рентабельности проекта в данном случае необходимо использовать контролируемые государством цены.

Управляемые цены устанавливаются правительственным органом и направлены на обеспечение фиксированного уровня субсидий.

После оценки потоков проектируемых расходов и поступлений следует этап калькуляции интегральных показателей достоинства проекта. К ним относятся **чистый дисконтированный доход (ЧДД), внутренняя норма дохода (ВНД), индекс доходности (ИД), срок окупаемости ( $T_{ок}$ )**.

Прежде, чем дать определение этих показателей, необходимо ввести еще три понятия – альтернативная стоимость, дисконтирование и приращенные выгоды и затраты.

#### ***Альтернативная стоимость***

Любые экономические ресурсы потенциально могут быть использованы несколькими различными способами. Использование ресурсов на одни цели неизбежно исключает возможность их иного использования. Альтернативная стоимость ресурса, использованного определенным образом, определяется ценностью, которую он мог бы иметь при использовании наилучшим из возможных альтернативных способов.

#### ***Дисконтирование***

Проектный анализ использует способ приведения текущих и будущих событий в сопоставимый вид, известный как «дисконтирование». Этот способ воспроизводит ту процедуру, которую люди используют при выборе между текущим и будущим потреблением. При дисконтировании берется текущая процентная ставка, которая обычно определяется альтернативными инвестиционными возможностями, и производится расчет относительной ценности одинаковых денежных сумм, получаемых или уплачиваемых в различные периоды времени.

Основой дисконтирования является понятие «временного предпочтения» или изменения ценности денег во времени. Это означает, что ранее полученные деньги имеют большую ценность, чем деньги, полученные позднее.

Расчет несложен и основан на геометрической прогрессии (смотри пример дисконтирования). Первоначально один доллар США (\$ 1) инвестируется из 10 % годовых. Если процентный доход реинвестируется, то через 3 года вклад составит \$ 1,33. Иначе говоря, в условиях такой экономики, когда процентная ставка достигает 10 %, потребителю все равно – истратить ли сейчас 1 \$ или одолжить \$ 1 инвестору, который через три года выплатит ему \$ 1,33. Таким образом, \$ 1 сейчас эквивалентен \$ 1,33 через три года.

С точки зрения инвесторов сумма, которую они получают когда-то в будущем, имеет тем меньшую ценность, чем дольше ее придется ожидать, так как тем больше будет сумма упущенных за период ожидания процентных доходов. Как видно из второй серии расчетов (табл. 4.2), в экономике при процентной ставке 10 % обязательство выплатить \$ 1 через 5 лет стоит сегодня лишь 62 цента, а через 20 лет – только 15 центов.

Пересчет текущих и будущих сумм в эквивалентные ценности путем дисконтирования позволяет специалистам по экономическому и финансовому анализу определять достоинство проектов на основании приведенной или чистой приведенной ценности настоящих и будущих затрат, а также поступлений или выгод. Затраты и выгоды, подсчитанные за каждый год жизни проекта, а также чистые поступления или выгоды (выгоды–затраты) за каждый год дисконтируются и суммируются для получения общего показателя ценности проекта. Если чистая приведенная ценность проекта положительна, то специалист по проектному анализу придет к выводу о приемлемости проекта, а при отрицательной величине делается вывод о том, что ресурсы, требуемые для проекта, разумнее направить на другие цели.

#### **Пример дисконтирования**

Принятые условия: Ставка дисконта  $E_n = 10\%$ . Инвестиция = \$ 1.

		Будущая ценность:
Сейчас	\$ 1.	$\$ 1 = \$ 1 \cdot 1,10^0$
год:	Через один \$ 1 + 10 % от \$ 1.	$\$ 1,1 = \$ 1 \cdot 1,10^1$
года:	Через два \$ 1,10 + 10 % от \$ 1,1.	$\$ 1,21 = \$ 1 \cdot 1,10^2$
года:	Через три \$ 1,21 + 10 % от \$ 1,21.	$\$ 1,33 = \$ 1 \cdot 1,10^3$

Таблица 4.2

## Будущие выплаты в счет погашения долга

Время выплаты, год	Выплата	Коэффициент дисконтирования $(1 + E_n)^{-t}$	Приведенная ценность выплачиваемой суммы
Сейчас	\$ 1	$1,10^0$	$\$ 1 = \$ 1 \cdot 1,10^0$
Через год	\$ 1	$1,10^{-1}$	$\$ 0,91 = \$ 1 \cdot 1,10^{-1}$
Через два	\$ 1	$1,10^{-2}$	$\$ 0,83 = \$ 1 \cdot 1,10^{-2}$
Через три	\$ 1	$1,10^{-3}$	$\$ 0,75 = \$ 1 \cdot 1,10^{-3}$
Через пять	\$ 1	$1,10^{-5}$	$\$ 0,62 = \$ 1 \cdot 1,10^{-5}$
Через десять	\$ 1	$1,10^{-10}$	$\$ 0,39 = \$ 1 \cdot 1,10^{-10}$
Через двадцать	\$ 1	$1,10^{-20}$	$\$ 0,15 = \$ 1 \cdot 1,10^{-20}$

**Приращенные выгоды и затраты**

Целью проектного анализа является установление различия между ситуациями «с проектом» и «без проекта». Учет «приращенных» в результате проекта выгод и затрат требует уточнения ранее приведенной формулы:

$$\text{Ценность проекта} = \text{Изменение выгоды в результате проекта} - \text{Изменение затрат в результате проекта}$$

Подобный подход не эквивалентен сопоставлению ситуации до проекта с ситуацией после него, так как сравнение положений до и после проекта не учитывает изменений в капиталовложениях и производстве, которые произошли бы независимо от проекта, и тем самым ведет к неточному подсчету выгод и затрат, относимых на счет проекта.

Изменение объема производства при отсутствии проекта (т. е. независимо от него) может происходить в двух случаях. В самом обычном случае рост производства или использования продукции проекта может уже иметь место.

Во-вторых: изменение объема производства может произойти «без проекта», если фактическое падение производства наступает из-за отсутствия новых капиталовложений. Такое положение возможно при дефиците необходимых ресурсов, отсутствии должного сервиса или при необходимости восстановления и расширения самих производственных мощностей.

## 4.2. Основные показатели достоинства проектов

### *Чистый дисконтированный доход (Net Present Value – NPV)*

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) равен разности между текущей ценностью потока будущих доходов или выгод и текущей ценностью потока будущих затрат на осуществление, эксплуатацию и техническое обслуживание проекта на всем протяжении срока его жизни.

Можно рассматривать ЧДД как текущую ценность потока доходов или выгод от сделанных капиталовложений. В финансовом анализе рентабельности ЧДД представляет собой текущую ценность потока чистых поступлений, получаемых лицом или фирмой, в интересах которых предпринимается проект.

Для калькуляции ЧДД по проекту необходимо определить соответствующую ставку дисконта, использовать ее для дисконтирования потоков выгод и затрат, а затем суммировать полученные приведенные ценности. В анализе финансовой рентабельности, ставка дисконта обычно является стоимостью капитала для фирмы. В случае экономического анализа ставка дисконта должна представлять собой альтернативную стоимость капитала, т. е. прибыль, которая могла бы быть получена при инвестировании в альтернативные проекты. Если сумма дисконтированных ценностей имеет положительное значение, проект окажет положительное влияние на результаты деятельности фирмы или экономики в целом и может быть рекомендован для финансирования:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^n \frac{P_t - Z_t}{(1 + E_n)^t}, \quad (4.2)$$

где  $P_t$  – суммарные выгоды или затраты проекта в год,  $tZ_t$  – затраты на проект в год,  $t$ ;  $E_n$  – ставка дисконта;  $n$  – срок жизни проекта.

### *Внутренняя норма дохода (Internal Rate of Return – IRR)*

Внутренняя норма дохода (или – внутренняя норма рентабельности) по проекту равна ставке дисконта, при которой выгоды равны затратам. Иными словами, внутренняя ставка дохода – это ставка дисконта, при которой чистый дисконтированный доход по проекту равен нулю.

### **Индекс доходности**

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений:

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot \frac{1}{(1 + E)^t}. \quad (4.3)$$

Индекс доходности тесно связан с ЧДД, он строится из тех же элементов и его значение связано со значением ЧДД, если ЧДД положителен, то ИД > 0, и, наоборот.

Если ИД > 0, проект эффективен, если ИД < 0 – неэффективен.

### **Период окупаемости капиталовложений (PBP-Pay Back Period)**

Период окупаемости капиталовложений указывает на число лет, требуемых для возмещения капиталовложений в проект за счет чистых выгод от проекта. Этот показатель иногда удобен для быстрого расчета и может указать на вариант проекта, заслуживающий дальнейшего рассмотрения. Однако он не приводит к однозначным выводам. Так, например, один проект стоимостью в 100 у. е., приносящий ежегодную выгоду в 20 у. е., окупается за 5 лет, а другой – 100 у. е., проект, приносящий в первый год выгоду в 1 у. е. и на пятый год – выгоду в 99 у. е., окупается также за 5 лет. Однако в первом случае ЧДД – положителен, а во втором – отрицателен. Срок окупаемости – минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Иными словами, это – период (измеряемый в месяцах, кварталах или годах), начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его осуществления.

Результаты и затраты, связанные с осуществлением проекта, можно вычислять с дисконтированием или без него. Соответственно, получится два различных срока окупаемости. Срок окупаемости рекомендуется определять с использованием дисконтирования.

## **4.3. Техничко-экономическая оценка инвестиционных проектов**

Техничко-экономическую оценку можно разделить на 3 этапа:

1. Оценка чистых сбережений.
2. Оценка инвестиций.

### 3. Расчет показателей достоинства проекта.

#### **Определение основных экономических параметров**

Важнейшим фактором, влияющим на точность анализа по прибыльности, является использование по возможности точных количественных значений экономических параметров (табл. 4.3).

Таблица 4.3

**Количественные значения экономических параметров**

Показатели параметров	Величины
Инвестиции	$I_0$
Годовые чистые сбережения	$B$
Технический/ экономический срок службы	$n$
Номинальная процентная ставка	$E_n \cdot 100, \%$
Реальная процентная ставка	$r \cdot 100, \%$
Уровень инфляции	$b \cdot 100, \%$
Относительная инфляция	$e \cdot 100, \%$

Годовая чистая экономия – чистые ежегодные сбережения, получаемые от соответствующих инвестиций

**Экономический срок службы** – время, за которое полностью амортизируется сумма инвестиций.

**Технический срок службы** – физический и практический срок службы инвестиций

Если некоторые узлы заменяются задолго до того, как они изнашиваются, поскольку новые и более эффективные материалы появились на рынке, то экономический срок службы короче технического. Изменения в стандартах и правилах, ценах на энергию, требованиях к комфорту и т. д. также могут привести к замене компонентов задолго до того, как они изнашиваются в техническом отношении.

Для технико-экономических расчетов и оценок нужно использовать **экономический срок службы**.

#### **Номинальная процентная ставка $E_n$**

Номинальная процентная ставка в финансовых расчетах принимается в размере ставки мобилизации дополнительного капитала. Номинальная процентная ставка обычно выше уровня инфляции.



### **Реальная процентная ставка $r$**

Реальная процентная ставка – это номинальная процентная ставка с учетом инфляции, относительного увеличения цен на энергию и возможного относительного увеличения других цен.

Часто очень трудно предсказать изменение реальной процентной ставки в будущем, особенно в странах с экономикой переходного периода. Тем не менее, это чрезвычайно важный параметр и чем дольше экономический срок службы инвестиций, тем более высокую роль будет играть реальная процентная ставка.

### **Уровень инфляции $b$**

Инфляция определяется как среднее увеличение цен на все потребительские товары в течение каждого года. Инфляцию также трудно предугадать и она может изменяться для различных групп товаров и услуг.

Реальная процентная ставка с учетом инфляции:

$$r = \frac{E_n - b}{1 + b}. \quad (4.4)$$

### **Относительная инфляция $e$**

Если стоимость важных параметров, например цены на энергию, значительно отличается по тенденции развития от средней инфляции, то тогда процентная ставка корректируется по относительному уровню инфляции этих параметров.

Реальная процентная ставка с учетом инфляции и относительной инфляции:

$$r = \frac{1}{1 + e} \left[ \frac{E_n - b}{1 + b} - e \right]. \quad (4.5)$$

При выполнении грубого расчета может использоваться упрощенный расчет реальной процентной ставки:

$$r = E_n - b. \quad (4.6)$$

Упрощенная форма не должна использоваться в случаях, когда инфляция высокая.

**Оценку доходности инвестиций можно произвести следующим образом:**

1. По сроку окупаемости (упрощенно) –  $(T_{\text{ок. упр}})$ .
2. По чистому дисконтированному доходу – ЧДД.
3. По индексу доходности – ИД.
4. По сроку окупаемости (детальный расчет) –  $T_{\text{ок. д.}}$ .

### **Общие параметры**

К общим параметрам всех методов относятся:

- Экономический срок службы  $n_{\text{э}}$ , годы.
- Технический срок службы  $n_{\text{т}}$ , годы.
- Инвестиции  $I_0$ , руб.
- Годовое чистое сбережение  $B$ , руб.
- Реальная процентная ставка  $r \cdot 100$ , %.

### **Оценка инвестиций по сроку окупаемости (упрощенно) $(T_{\text{ок}})$**

Простой срок окупаемости – время, которое необходимо, чтобы инвестиции окупились при получении равных годовых чистых сбережений ( $B_1 = B_2 = \dots = B_n$ ). По истечении этого времени инвестор зарабатывает деньги, пока не будет достигнут экономический срок службы и не потребуются новые инвестиции:

**Срок окупаемости = Инвестиции / Годовое чистое сбережение.**

$$T_{\text{ок}} = I_0 / B, \text{ годы.} \quad (4.7)$$

Метод с использованием срока окупаемости является наиболее удобным инструментом для быстрых расчетов, но он несколько ограничен. Его следует использовать только тогда, когда реальная процентная ставка низкая и срок окупаемости менее 4–5 лет при расчете в стабильной валюте и двух–трех при расчете в рублях.

В этом методе не учитывается стоимость годовых сбережений после срока окупаемости. Поэтому крупные сбережения могут не приниматься во внимание и общая прибыльность может быть намного больше чем та, что показывается за срок окупаемости.

### **Оценка проектов по ЧДД**

Метод предполагает учет инфляции. Чтобы суммировать дисконтированную стоимость ежегодных сбережений, необходимо опре-

делить контрольный год, с которым можно соотносить все инвестиции и сбережения. Не имеет значения, какой год выбирается в

качестве контрольного (базисного), поскольку все входящие и исходящие платежи соотносятся с тем же контрольным годом. Обычно выбирается год, в который делаются инвестиции (год 0). Формулу для ЧДД можно записать следующим образом:

$$\text{ЧДД} = \text{Дисконтированные чистые выгоды} - \\ - \text{Дисконтированные инвестиции.}$$

Если годовые сбережения каждый год разные и  $B_1 \neq B_2 \neq B_3 \neq \dots \neq B_n$ , то ЧДД рассчитывается:

$$\text{ЧДД} = \left( \frac{B_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+r)^n} \right) - I_0. \quad (4.8)$$

Очень часто в проектах развития принимается, что ежегодные чистые сбережения равны между собой, т. е.  $B_1 = B_2 = \dots = B_n$ .

Тогда уравнение для ЧДД можно математически упростить:

$$\text{ЧДД} = B \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} - I_0. \quad (4.9)$$

### **Оценка инвестиций по индексу доходности**

ИД – отношение между ЧДД и общими инвестициями:

$$\text{ИД} = \frac{\text{ЧДД}}{I_0}. \quad (4.10)$$

Наибольший ИД указывает на наиболее прибыльный проект. Метод ИД удобно применять, например, для ранжирования мероприятий по сохранению энергии в порядке их прибыльности.

Оценка инвестиций на основании срока окупаемости, рассчитанного с использованием реальной процентной ставки.

Данный метод может применяться только при условии, что  $B = \text{const}$ .

Реальный срок окупаемости проекта рассчитывается исходя из условия, что ЧДД = 0:

$$\text{ЧДД} = B \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} - I_0 = 0. \quad (4.11)$$

Обозначим:

$$f = \frac{B}{I_0} = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} - \text{коэффициент аннуитета.} \quad (4.12)$$

Если известны коэффициент аннуитета  $f$  и реальная процентная ставка, то срок окупаемости  $n$  можно найти из таблицы аннуитета.

### **Внутренняя норма рентабельности (ВНД)**

Как уже было сказано выше, ВНД – это такая ставка дисконта, при которой приведенная величина будущей экономии будет равна сумме инвестиций, т. е. ЧДД = 0.

$$\text{ЧДД} = B \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_0 = 0, \quad (r - \text{неизвестное});$$

$$f = \frac{B}{I_0} = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} - \text{коэффициент аннуитета.}$$

Если известны коэффициент аннуитета  $f$  и экономический срок службы, то внутреннюю норму рентабельности можно найти из таблицы аннуитета.

#### **Пример 4.1**

Инвестиции  $I_0 = 10500$  долл. США.

Годовое чистое энергосбережение  $S = 30000$  кВт · ч/год.

Цена за энергию  $E = 0,06$  дол. США/кВт · ч.

Экономический срок службы  $n = 10$  лет.

Номинальная процентная ставка  $E_n \cdot 100 = 30$  %.

Инфляция  $b \cdot 100 = 20$  %.

*Какова прибыльность этого мероприятия?*

### **Срок окупаемости (упрощенный расчет)**

Годовое чистое сбережение в деньгах:

$$B = S \cdot E = 30000 \cdot 0,06 = 1800 \text{ долл. США/год;}$$

$$T_{\text{ок(у)}} = \frac{I_0}{B} = \frac{10000}{1800} = 5,8 \text{ года.}$$

Индекс доходности:

$$\text{ЧДД} = B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_0;$$

$$\text{ЧДД} = 1,800 \cdot \frac{1 - (1 + 0,083)^{-10}}{0,083} - 10500 = 1416 \text{ долл. США};$$

$$\text{ИД} = \frac{\text{ЧДД}}{I_0} = \frac{1416}{10500} = 0,13;$$

$\text{ИД} > 0 \Rightarrow$  мероприятие прибыльное.

#### ***Срок окупаемости (детальный расчет)***

Реальная процентная ставка:

$$r = \frac{n_r - b}{1 + b} = \frac{0,30 - 0,20}{1,20} = 0,083 = 8,3 \, \%.$$

$$\text{Коэффициент аннуитета: } f = \frac{B}{I_0} = \frac{1800}{10.500} = 0,17.$$

Из таблицы аннуитета:

$$r = 8,3 \, \% \text{ и } f = 0,17 \Rightarrow \text{Срок окупаемости} = 8,6 \text{ года.}$$

Как видно, детальный расчет резко отличается от упрощенного.

#### ***Внутренняя норма рентабельности***

Из таблицы аннуитета:

$$n = 10 \text{ лет и } f = 0,17 \Rightarrow \text{ВНД} = 11,1 \, \%;$$

$\text{ВНД} > \text{Реальной процентной ставки} \Rightarrow$  мероприятие прибыльное.

### **4.4. Оценка инвестиционных проектов в условиях тождества результата**

При одинаковой стоимостной оценке результатов (что характерно для сравнения вариантов электроснабжения) выбор варианта по [2] в конечном итоге сводится к сопоставлению приведенных затрат.

#### ***Приведенные затраты***

Приведенные затраты  $Z$  представляют собой сумму текущих затрат и капитальных вложений, приведенных к одинаковой размерности:

$$Z = r \cdot K + C, \quad (4.13)$$

где  $r$  – реальная процентная ставка;  $K$  – капитальные вложения;

$C$  – текущие ежегодные эксплуатационные затраты.

Если сравниваются два варианта и один из них имеет большие капитальные вложения и большие текущие затраты, то он является менее экономичным. Однако снижения текущих затрат в большинстве случаев можно добиться за счет применения более прогрессивной, но более дорогой техники.

Таким образом, методика должна дать ответ на вопрос, что в данных конкретных условиях выгоднее – принять вариант более дорогой, но с меньшими текущими затратами в течение года или вариант более дешевый, но с большими текущими затратами в году.

По приведенным затратам можно сравнивать любое количество вариантов. Наиболее экономичным будет тот, у которого приведенные затраты имеют наименьшее значение.

**Пример 4.2.** Основные экономические показатели трех сопоставляемых вариантов соответственно равны:

$$\begin{array}{llll} K_1 = & K_2 = & K_3 & \text{тыс.} \\ 350, & 400, & = 450 & \text{руб.;} \\ C_1 = & C_1 = & C_1 & \text{тыс.} \\ 70, & 60, & = 80 & \text{руб./год.} \end{array}$$

Требуется определить, какой из вариантов является наиболее экономичным: при этом предполагается техническая равноценность всех вариантов. Численное значение  $r$  принять равным 0,1.

Так как показатели варианта 3  $K_3$  и  $C_3$  больше, чем соответствующие показатели первых двух вариантов, то вариант 3 является наименее экономичным и его можно исключить из рассмотрения.

Приведенные затраты первых двух вариантов равны:

$$Z_1 = r \cdot K_1 + C_1 = 0,1 \cdot 350 + 70 = 105 \text{ тыс. руб./год.}$$

$$Z_2 = r \cdot K_2 + C_2 = 0,1 \cdot 400 + 60 = 100 \text{ тыс. руб./год.}$$

Как видно, приведенные затраты варианта 2 меньше приведенных затрат варианта 1, поэтому несмотря на то, что вариант 2 требует больших капитальных затрат, он является более экономичным за счет экономии на ежегодных эксплуатационных затратах.

### ***Суммарные приведенные затраты***

Показателем экономичности вариантов могут быть и суммарные приведенные затраты за ряд лет.

Суммарные затраты можно получить, поделив годовые приведенные затраты на  $r$ :

$$Z_{\Sigma} = \frac{Z}{r} = K + \frac{C}{r} = K + T_{\text{н}} \cdot C = Z \cdot T_{\text{н}}, \quad (4.14)$$

где  $T_{\text{н}} = \frac{1}{r}$  – нормативный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений.

Как видно из формулы (4.14), суммарные затраты  $Z_{\Sigma}$  в  $T_{\text{н}}$  раз больше годовых приведенных затрат  $Z$ . Так как при применении любого показателя ( $Z$  и  $Z_{\Sigma}$ ) соотношение затрат по вариантам остается одним и тем же, то для определения экономичности вариантов могут быть использованы как годовые приведенные затраты  $Z$ , так и суммарные затраты  $Z_{\Sigma}$ .

#### **Коэффициент сравнительной экономической эффективности дополнительных капитальных вложений**

При ограниченном числе вариантов возможно их по парное сравнение по методу срока окупаемости дополнительных капитальных вложений и по методу коэффициента сравнительной экономической эффективности.

Метод коэффициента эффективности можно вывести из метода приведенных затрат. Действительно, при сравнении двух вариантов их экономичность определяется из неравенства

$$r \cdot K_1 + C \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} r \cdot K_2 + C_2.$$

Примем, что при этом  $K_2 > K_1$ , а  $C_2 < C_1$ . Данное неравенство можно записать в виде

$$C_1 - C_2 \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} r \cdot (K_2 - K_1),$$

или

$$\frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} r. \quad (4.15)$$

Неравенство (4.15) выражает суть метода коэффициента эффективности, которая состоит в том, что определяется ежегодная эконо-



мия текущих затрат ( $C_1 - C_2$ ) на каждый рубль дополнительных капитальных вложений ( $K_1 - K_2$ ) и сравнивается с реальной процентной ставкой  $r$ , рассчитанной исходя из номинальных условий. В этом случае ежегодная экономия на рубль дополнительных капитальных вложений показывает значение расчетной (фактической) процентной ставки  $r_p$ , т. е.

$$r_p = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1} > r.$$

Если  $r_p > r$ , то экономичнее вариант с большими капитальными вложениями. При  $r_p < r$  более экономичным является вариант с меньшими капитальными вложениями. Равенство  $r_p = r$  означает экономическую равноценность сопоставляемых вариантов.

**Пример 4.3.** Определить наиболее экономичный вариант для условий примера 4.2. методом коэффициента эффективности,  $r = 0,1$ :

$$r_p = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1} = \frac{70 - 60}{400 - 350} = 0,2 \frac{\text{руб./год}}{\text{руб.}}$$

Так как фактическая эффективность  $r_p$  выше проектной  $r$  ( $0,2 > 0,1$ ), то более экономичным является вариант 2, что совпадает с выводом из примера 4.2.

### ***Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений***

Метод срока окупаемости можно вывести из сравнения двух вариантов по суммарным приведенным затратам:

$$K_1 + T_H \cdot C_1 > K_2 + T_H \cdot C_2,$$

или

$$T_H \cdot (C_1 - C_2) > K_2 - K_1.$$

Поделив обе части последнего неравенства на  $(C_1 - C_2)$ , получим:

$$\frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} > T_H. \quad (4.16)$$

Левая часть неравенства показывает, за сколько лет окупятся дополнительные капитальные вложения ( $K_2 - K_1$ ) по более дорогому варианту, если ежегодная экономия текущих затрат составляет

$(C_1 - C_2)$ , т. е. дает значение расчетного (фактического) срока окупаемости  $T_P$ .

Суть метода заключается в сопоставлении этого срока с нормативным сроком окупаемости  $T_H$ . Если  $T_P > T_H$ , то экономичнее вариант более дешевый.

При  $T_P < T_H$  дополнительные капитальные вложения окупаются в приемлемые сроки и оправданным является вариант с большими капитальными вложениями. При  $T_P = T_H$  варианты экономически равноценны.

**Пример 4.4.** Определить более экономичный вариант для условий примера 4.2 методом срока окупаемости:

$$T_P = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} = \frac{400 - 350}{70 - 60} = 5 \text{ лет};$$

$$T_H = \frac{1}{E_H} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ лет.}$$

Так как расчетный срок окупаемости  $T_P$  меньше нормативного ( $5 < 10$ ) лет, то более экономичным является вариант 2, что совпадает с выводами из примеров 4.2 и 4.3.

Если по сроку окупаемости ил коэффициенту эффективности сравниваются несколько вариантов, то следует производить их последовательно по парное сравнение исключая каждый раз из рассмотрения менее экономичный вариант.

#### **4.5. Степень экономичности сопоставляемых результатов**

Если приведенные затраты сопоставляемых вариантов отличаются незначительно, то встает вопрос, насколько один вариант экономичнее другого. Этот вопрос возникает в связи с тем, что большинство расчетных параметров, входящих в приведенные затраты, определяются с некоторой степенью точности, и поэтому результаты расчетов могут находиться в пределах точности исходных данных.

В специальной технической литературе [4] принято считать варианты равноэкономичными, если их приведенные затраты отличаются на 5–10 %, т. е. степень экономичности одного варианта по отношению к другому рекомендуется определять как относительную разность приведенных затрат:

$$\delta_z = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_2}. \quad (4.17)$$

Так, для примера 4.2 степень экономичности по формуле (4.17) равна:

$$\delta_z = \frac{105 - 100}{100} = 0,05, \text{ или } 5 \%.$$

Это означает, что согласно [4] варианты можно признать равно-экономичными. Однако капитальные вложения варианта 2 больше на 50 тыс. руб., поэтому появляются сомнения в том, что следует принимать именно вариант 2.

Если выбор варианта осуществляется по методу срока окупаемости или коэффициента эффективности, то степень экономичности должна определяться относительными значениями этих показателей:

$$\delta_E = \frac{r_P - r}{Z_H}, \text{ или } \delta_T = \frac{T_P - T_H}{T_H}.$$

Для условий примера 4.3 относительное значение коэффициента эффективности равно

$$\delta_E = \frac{0,2 - 0,1}{0,1} = 1,0, \text{ или } 100 \%.$$

Такое резкое расхождение результатов при определении степени экономичности (5 или 100 %) объясняется тем, что деление экономии приведенных затрат ( $Z_1 - Z_2$ ) на приведенные затраты одного из вариантов неправомерно. Действительно приведенные затраты представляют собой сумму двух слагаемых, поэтому разность приведенных затрат можно представить в следующем виде:

$$Z_1 - Z_2 = r \cdot K_1 + C_1 - r \cdot K_2 - C_2 = (C_1 - C_2) - r \cdot (K_2 - K_1).$$

Как видно, для определения степени экономичности разность ( $Z_1 - Z_2$ ) следует делить не на  $Z_2$ , а на  $(C_1 - C_2)$  или  $r(K_2 - K_1)$ . Так как для условий примера 4.2 степень экономичности должна быть не 5 %, а

$$\frac{Z_1 - Z_2}{r \cdot (K_2 - K_1)} = \frac{105 - 100}{0,1 \cdot (400 - 350)} = 1,0, \text{ или } 100 \%.$$

Что совпадает со степенью экономичности, определенной по относительной разнице фактического и проектного коэффициента эффективности.

Таким образом, возможность считать варианты равноэкономичными следует определять не по относительной разнице приведенных затрат, как принято в настоящее время, а по относительному значению коэффициента эффективности  $\delta_E$  или срока  $\delta_T$  окупаемости.

Варианты можно считать равноэкономичными, если расчетные значения и отличаются от нормативных значений и не более чем на 5–10 %. Если  $\delta_E$  или  $\delta_T$  превышают 5–10 %, то вопрос о равноэкономичности вариантов требует дополнительного анализа с учетом достоверности исходных данных.

#### 4.6. Отступления от оптимального варианта

Одним из достоинств метода приведенных затрат является возможность в ряде случаев определить оптимальный вариант аналитическим путем. Так, если известна зависимость приведенных затрат, например, от капитальных вложений  $Z = f(K)$ , то условием оптимальности является равенство нулю производной  $dZ/dK$ .

Как правило, кривая зависимости годовых приведенных затрат  $Z$  в зоне минимума имеет пологий характер (рис. 4.1), поэтому отклонения в этой зоне от точки математического минимума как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения капитальных вложений мало сказываются на величине приведенных затрат.

На этом основании в технической литературе достаточно часто встречаются рекомендации о возможности и оправданности отступления от точки оптимального значения капитальных затрат в сторону их снижения. Такие рекомендации приводят к тому, что при выборе вариантов можно варьировать значением капитальных вложений в широких пределах (приведенные затраты отличаются при этом не более чем на 5–10 %).

В подобных рассуждениях нарушено основное положение теории экономической эффективности капитальных вложений, согласно которой капитальные вложения, которые делаются на несколько лет, должны сопоставляться не с годовыми затратами, а с затратами ряда лет, т. е. с суммарными приведенными затратами. Как показано в [5], для выбора сечений проводников суммарные затраты имеют уже не пологий характер, а четко выраженный минимум, отступление от которого связано с определенным ущербом, причем при отклонении от оптимума в сторону увеличения капитальных вложений ущерб  $U_2$  имеет меньшее значение, чем при отклонении в сторону снижения капитальных вложений  $U_1$  (рис. 4.1).

Таким образом, вопрос о возможности отступления от математического оптимума при решении технико-экономических задач должен основываться на допустимых отклонениях значений суммарных затрат, а не годовых приведенных затрат.

#### 4.7. Приведение вариантов к сопоставимому виду

Все рассмотренные методы сравнения вариантов применимы, если варианты находятся в сопоставимых условиях по качественным параметрам, по производительности, по фактору времени и др. Методы приведения вариантов к сопоставимому виду по фактору времени производительности отражены, например, в [5].

Что касается приведения к сопоставимому виду вариантов, отличающихся техническими характеристиками, то оно осуществляется в основном двумя методами:

- добавлением к капитальным вложениям одного из вариантов дополнительных капитальных вложений, позволяющих достигнуть сходных характеристик;

- добавлением к приведенным затратам одного из вариантов годового ущерба, вызванного худшими качественными показателями.

При приведении к сопоставимым условиям вариантов электрооборудования используется, как правило, второй метод.

Если варианты различаются техническими параметрами, которые трудно или невозможно выразить в стоимостном выражении (например, удобство монтажа или эксплуатации), то для определения более экономичного варианта используются методы экспертных оценок [5].

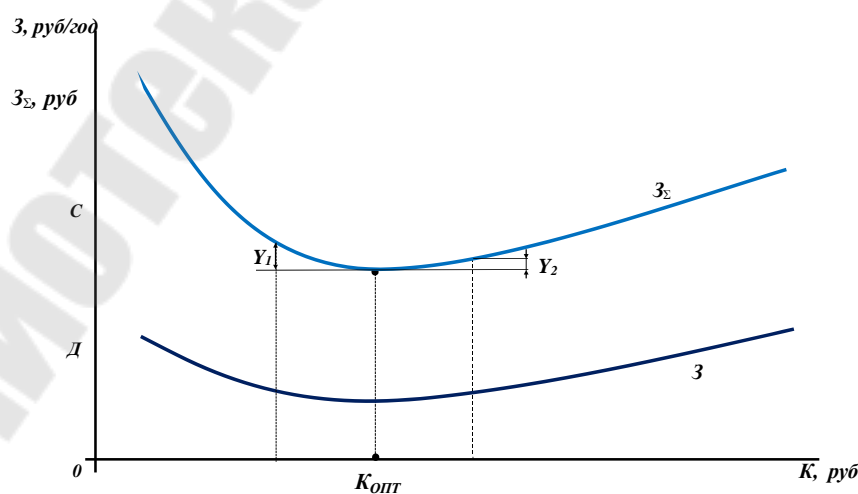


Рис. 4.1. Зависимость приведенных затрат от капитальных вложений

#### **4.8. Нормативно-параметрические методы определения технико-экономических показателей новшеств**

При проведении научных исследований для определения взаимосвязей в различного рода технико-экономических явлениях, процессах или экспериментах широко применяются экономико-математические методы. Эти методы могут использоваться для целей организации, планирования и управления производством в рамках функционирования предприятия (организации).

Успешному решению отмеченных задач способствует более полное внедрение в практику определения экономических показателей нормативно-параметрических методов [11]. Как показывают исследования, практически по всем видам электротехнических изделий наблюдается достаточно жесткая взаимосвязь экономических показателей с их технико-экономическими параметрами.

Сущность нормативно-параметрических методов определения численных значений экономических показателей состоит в выявлении функциональной взаимосвязи между конкретным экономическим показателем, например, между ценой или себестоимостью и параметрами изделия.

Группа таких изделий, характеризующаяся одним и тем же составом основных технико-экономических параметров и относительно однородными взаимосвязями между экономическим показателем и параметрами изделия, представляет собой параметрический ряд.

В общем случае взаимосвязь между экономическим показателем и технико-экономическими параметрами изделий может быть выражена следующим уравнением:

$$\text{ЭП} = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (4.18)$$

где ЭП – экономический показатель изделия;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – параметры изделия;  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – некоторая функция, наилучшим образом моделирующая взаимосвязь между экономическим показателем изделия и его параметрами.

Вид функциональной зависимости, параметры, включаемые в уравнение, коэффициенты уравнений могут определяться различными методами: вероятностно-статистическими; экспертными; технико-экономическими расчетами.

Определение ЭП нормативно-параметрическими методами включает в себя следующие основные этапы:

– выбор изделий с одинаковым составом основных технико-экономических параметров;

– группировка с помощью средств вычислительной техники отобранной совокупности изделий в параметрические ряды, характеризующиеся относительно однородными взаимосвязями между конкретным ЭП и технико-экономическими параметрами изделий;

– исследование и применение корреляционных полей взаимосвязей ЭП с технико-экономическими параметрами изделий и отбор параметров, оказывающих на размер ЭП наиболее существенное влияние;

– выбор и обоснование типа нормативно-параметрического уравнения; расчет коэффициентов нормативно-параметрических уравнений; расчет численного значения ЭП.

Адекватность экономико-математических моделей для определения ЭП изготовления изделий существенно повышается, если в экономико-математической модели учитывать несколько технических факторов.

Нормативно-параметрические методы применяют для решения следующих задач:

- определение оптовых цен в период массового пересмотра;
- определение расчетных цен на изделия с учетом индивидуальных условий хозяйствования производственных объединений;
- анализ издержек производства и обращения изделий;
- определение экономического эффекта от производства и использования новых (усовершенствованных) изделий.

Следует отметить, что в период массового пересмотра цен не всегда удастся собрать необходимый объем информации о себестоимости изделий.

Как показывают исследования, довольно часто при расчете оптовых цен можно использовать многофакторные регрессионные уравнения, полученные на основе старых оптовых цен. На рис. 4.2 приведены две кривые, характеризующие зависимость оптовых цен на обмоточные провода марки ПЛБД от диаметра провода.

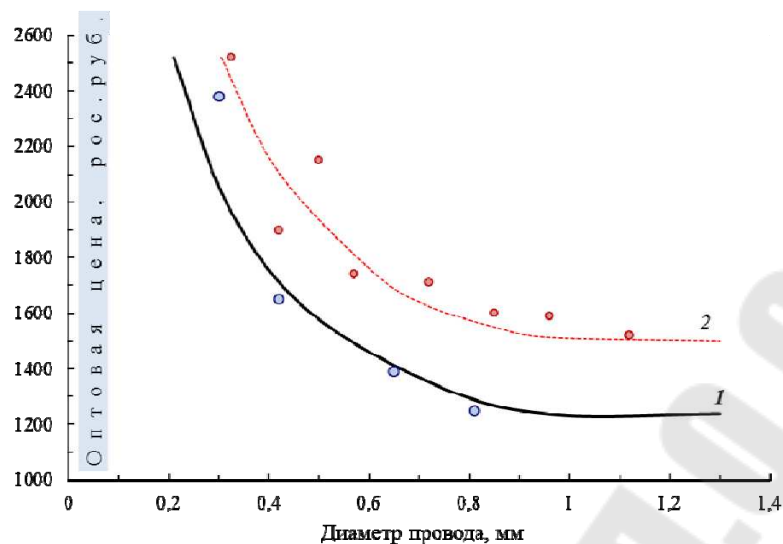


Рис. 4.2. Зависимость оптовых цен на обмоточные провода марки ПЛБД от его диаметра:  
 1 — кривая зависимости старой оптовой цены;  
 2 — кривая изменения новой оптовой цены, получена в результате пересмотра цен

Характер зависимости оптовых цен от технико-экономического параметра (в данном случае от диаметра провода) остался неизменным (рис. 4.2). Произошло лишь определенное увеличение новых оптовых цен. Это свойство можно использовать при пересмотре оптовых цен путем расчета по нормативно-параметрическим уравнениям для старых оптовых цен и последующей корректировки цен на соответствующие коэффициенты удешевления (удорожания) себестоимости производства продукции в новых условиях хозяйствования.

Нормативно-параметрические методы могут быть использованы и при расчете экономического эффекта от производства и применения изделий.

Многие виды продукции, например, электротехнической промышленности — комплектующие изделия, поэтому определить в чистом виде уровень производительности таких изделий часто не представляется возможным. Кроме того, практически все электротехнические изделия наряду с мощностью обладают рядом других полезных параметров, которые, в свою очередь, также увеличивают экономический эффект от применения новых (усовершенствованных) изделий, поэтому эти параметры должны быть учтены при расчете экономического эффекта.

Рассмотрим возможность использования нормативно-параметрических уравнений при определении экономического эффек-



та на примере замены аналоговой системы управления электроприводом асинхронно-вентильного каскада (АВК) на систему с использованием микропроцессоров.

Цель внедрения микропроцессоров – реализация более сложных законов управления, позволяющих повысить производительность труда, улучшить качество выпускаемой продукции, в итоге получить экономический эффект.

В результате анализа большого массива расчетных значений экономического эффекта при возможных комбинациях различных факторов установлено, что наиболее существенное влияние на численное значение экономического эффекта оказывают номинальная мощность привода, относительное увеличение производительности производственного механизма, где установлен такой электропривод, годовое время работы электропривода и количество производственных механизмов, обслуживаемых одним оператором.

Численно экономический эффект определяется многофакторным регрессионным уравнением:

$$\mathcal{E} = 1,71 X_1^{0,14} X_2^{3,27} X_3^{1,12} X_4^{0,73} - 8,9 \cdot 10^4, \quad (4.19)$$

где  $X_1$  – номинальная мощность электропривода, кВт;  $X_2$  – относительное увеличение производительности;  $X_3$  – годовое время работы производственного механизма, ч/год;  $X_4$  – количество производственных механизмов, обслуживаемых одним оператором, шт.

Результаты сопоставления фактического экономического эффекта с расчетным значением, полученным по уравнению (4.19), свидетельствуют о достаточно высоком уровне адекватности этого уравнения.

#### **4.9. Функционально-стоимостной анализ применения новшеств**

Выявить новые более эффективные технологические решения, по данным [11], довольно часто позволяет функционально-стоимостной анализ (ФСА). Это бывает в тех случаях, когда исследователям удастся абстрагироваться от привычных технологических решений, когда при поиске оптимальных технологических и конструктивных решений они руководствуются необходимостью достижения заданных параметров изделия и когда не имеет значения, из чего и каким образом изготовлено данное изделие. Вполне очевидно,

что получить изделие, выполняющее необходимые функции, можно многими способами.

Как показывает практика применения ФСА, значительным резервом снижения себестоимости продукции, в том числе энергетической, и повышения ее полезных свойств служит комплексное исследование затрат и полезных свойств отдельных узлов и деталей изделия. Главное при проведении этих исследований – комплексное согласование технико-экономических показателей отдельных узлов и деталей изделия.

При проведении ФСА следует также помнить, что не всякое улучшение того или иного параметра будет приводить к росту экономического эффекта у потребителя, а следовательно, и к росту потребительской стоимости изделия.

Довольно часто имеют место случаи, когда изготовители, стремясь повысить качество, повышают отдельные полезные свойства изделия выше необходимого для потребителя уровня. Поэтому при проведении ФСА следует определить рациональные уровни каждого из полезных свойств изделия. При этом особое внимание обращается на улучшение тех полезных свойств или потребительских стоимостей отдельных узлов и деталей, которые улучшают потребительскую стоимость изделия в целом.

Рассмотрим нормативно-параметрическое уравнение для расчета оптовых цен на тиристоры в зависимости от значений двух параметров – силы тока и напряжения:

$$\begin{aligned} Ц = 2,023 + 0,05X_1X_2 + 1,022 X_1^2 X_2^2 + 0,004 X_1^2 + 1,101 X_2 - \\ - 0,094X_1 + 0,0001 X_1^2 X_2, \end{aligned} \quad (4.20)$$

где  $X_1$  – сила тока, А;  $X_2$  – напряжение, В.

Для исследования «частного» влияния на изменение оптовой цены прироста одного из исследуемых параметров необходимо в уравнение подставить численные значения остальных параметров, соответствующих тем значениям, при которых исследуется взаимосвязь между ценой и интересующим параметром. Так, если интересуется изменение оптовой цены от напряжения при силе тока, равной 10 А, то уравнение (4.20) для исследования этого явления будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
C &= 2,023 + 0,05 \cdot 10 X_2 + 1,022 \cdot 10^2 X_2^2 + 0,004 \cdot 10^2 + \\
&+ 1,101 X_2 - 0,094 \cdot 10 + 0,0001 \cdot 10^2 X_2 = \\
&= 1,483 + 0,611 X_2 + 102,2 X_2^2 .
\end{aligned} \tag{4.21}$$

Следовательно, в зависимости от величины силы тока уравнение (4.20), моделирующее зависимость оптовой цены от напряжения, существенно изменяется.

#### 4.10. Риски инновационной деятельности

Отличительные особенности инновационного проекта – высокая степень риска и высокий потенциальный результат.

Инновационные проекты всегда рискованны и неопределенны по существу. В то время когда частные риски для компонентов проекта те же, что и для подобных других больших систем, профиль и величина специфического риска каждого проекта индивидуальны. Известно [11], что большинство проектов НИОКР проваливаются на разных стадиях разработки, внедрения и коммерческой реализации. В то же время в современной экономической литературе, как правило, отмечается, что компании, вовлеченные в инновационную деятельность, являются успешными не потому, что оказываются удачливыми, а потому, что они активно управляют рисками, с которыми им приходится сталкиваться.

Способ достижения успеха в управлении инновациями каждая компания выбирает, опираясь на корпоративную культуру, которая мотивирует команды исполнителей инновационных проектов максимизировать потенциальные выгоды от успеха и минимизировать потенциальные потери от неудачи. В современное динамичное время реальность постоянно меняется: рынки, цели, критерии успеха. В связи с этим более адекватным критерием успеха проекта служит время до прибыли, включая период затрат и период возврата инвестиций.

Изменения, произошедшие в последние годы, позволяют провести сравнения между традиционной и новой культурой (табл. 4.4).

Таблица 4.4

**Сравнительные характеристики традиционной и новой организационной культуры в управлении инновациями**

<b>Традиционная</b>	<b>Инновационная</b>
Время до вывода на рынок	Время до прибыли
Каждый проект должен быть успешным	Большинство проектов будут неудачными
Неудачные проекты = плохой менеджер	Неудачный проект = важное пополнение корпоративных знаний
Избегание рисков	Активное управление рисками

Риски и неопределенности должны моделироваться с целью получения распределений вероятности для сроков, стоимости и других параметров проекта. Это может быть сделано либо с помощью моделирования Монте-Карло, либо с использованием подхода трех сценариев. Моделирование Монте-Карло используется только для небольших проектов, поскольку для получения надежных результатов необходимо очень много итераций.

Широкое применение в России нашел подход трех сценариев и методология управления успехом проекта, поддерживаемая российским пакетом управления проектами *Spider Project* [11]:

#### 1. Планирование проекта

Для всех исходных данных проекта имеется три оценки (оптимистическая, наиболее вероятная и пессимистическая), которые в дальнейшем используются для разработки оптимистического, наиболее вероятного и пессимистического сценариев проекта. Наиболее вероятная и пессимистическая версии проекта могут включать дополнительные операции, отсутствующие в оптимистической версии. Это ведет к использованию дополнительных ресурсов и других календарей по причине разных рискованных событий в различных сценариях проекта.

#### 2. Управление проектом.

В процессе исполнения проекта команда управления проектом должна применять активное управление рисками, регулярно пересматривать все три сценария проекта и рассчитывать текущую вероятность достижения целей проекта.

Степень риска иногда определяется в виде произведения ожидаемого ущерба на вероятность его появления. При установлении

взаимосвязи между величиной риска выбираемого решения и возможным ущербом, наносимым этим решением, предполагается, что наилучшим является решение с минимальным риском. Для выбора решения с минимальным риском при подобном подходе используют функцию риска

$$R = A p_1 + (A + B)p_2, \quad (4.22)$$

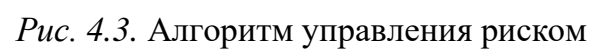
где  $R$  – риск;  $A$  и  $B$  – ущерб от выбираемых решений;  $p_1, p_2$  – степень уверенности, что произойдут ошибки при принятии этих решений.

В ряде случаев для определения степени риска и выбора оптимальных решений применяется методика «*дерево решений*».

Один из возможных алгоритмов обоснования решения об инвестировании средств в условиях риска, разработанный при подготовке учебного пособия [12], представлен на рис. 4.3.

Одной из основных причин повышенных рисков, характерных для современного рынка электроэнергии, формирующегося в стране, является особенность электроэнергии как товара: невозможность ее хранения и особенности ее транспортировки (передачи). Это наряду с наличием сложных контрактов между участниками энергетического рынка оказывает огромное давление на энергетические предприятия, оперирующие на рынке.

Учитывая, что отдельные энергокомпании имеют слабое или нулевое влияние на рыночные цены, полезным инструментом для них служит система прогнозирования цен. На цены рынка электроэнергии оказывают влияние самые разнообразные факторы: погода, техническое и технологическое состояние системы, ценовая динамика на топливном рынке, случайность поведения субъектов рынка. Все это приводит к необходимости получения и анализа большого количества информации для выработки решения.



#### **4.11. Метод расстановки приоритетов для выбора целесообразного варианта новшества в системах электроснабжения военных объектов**

Оптимальное (иногда просто рациональное) решение вопроса о целесообразном выборе новшества для системы электроснабжения (СЭС) военного объекта связано с проведением большого количества технико-экономических расчетов с использованием технических и экономических показателей.

К техническим показателям СЭС относятся: параметры оборудования, условия обслуживания, численность обслуживающего персонала, степень автоматизации системы и другие основные технические показатели, характеризующие принятые решения.

Основные экономические показатели СЭС – капитальные вложения  $K$  и ежегодные издержки на эксплуатацию  $C$ .

Капитальные вложения  $K$  определяют общую сумму денежных средств, необходимых для выполнения строительно-монтажных работ по СЭС и для приобретения электрооборудования.

Ежегодные издержки на эксплуатацию могут быть определены суммированием следующих затрат:

$$C = C_{ПЭ} + C_C + C_A + C_{ГСМ}, \quad (4.23)$$

где  $C_{ПЭ}$  – годовые затраты на потери электроэнергии;  $C_C$  – годовые затраты на содержание обслуживающего персонала;  $C_A$  – годовые затраты на амортизацию;  $C_{ГСМ}$  – годовые затраты на ГСМ.

При сравнении нескольких вариантов решений разработки СЭС предпочтительным с точки зрения экономической эффективности будет тот вариант, для которого величина приведенных затрат минимальна:

$$П_i = C_i + E_n K_i \rightarrow \min, \quad (4.24)$$

где  $C_i$  и  $K_i$  – соответственно ежегодные издержки (текущие затраты) и капитальные вложения по  $i$ -му варианту;  $E_n$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений.

Строго формализованная военно-экономическая оценка вариантов решений при разработке новшеств для СЭС военного объекта возможна при наличии исчерпывающих данных о составных элементах приведенных затрат. Такие данные могут быть в проектных, конструкторских организациях. Но при внедрении вновь разработанных или уникальных агрегатов такие данные, как правило, отсутствуют.

Тем не менее задача сравнения вариантов новшеств по приведенным затратам может быть вполне корректно решена при использовании метода расстановки приоритетов [13]. Метод позволяет ранжировать сравнимые варианты по величине приведенных затрат без определения конкретной суммы самих затрат, что вполне достаточно для выбора более экономичного, с точки зрения приведенных затрат, варианта.

Важно и то, что нередко, кроме экономических, большое значение имеют иные показатели, которые сложно или невозможно оценить в стоимостном выражении. Например, для военных объектов, кроме таких частных показателей, как капитальные вложения и ежегодные издержки на эксплуатацию, должны учитываться (нередко с более высокой приоритетностью) надежность (отдельные показатели долговечности, ремонтпригодности, безотказности и сохраняемости) и живучесть. Сложность выбора варианта часто усугубляется тем, что решение требуется принимать не только в условиях неполноты информации, но и в сжатые сроки.

Характерная черта любой подобной задачи, связанной с принятием решения, – наличие большого числа возможных вариантов, из которых нужно выбрать оптимальный. По разным причинам, в частности в силу сложности задач или отсутствия в достаточном объеме необходимой информации, практически чрезвычайно редко можно получить действительно оптимальный вариант. Поэтому определяют предпочтительный, т. е. наиболее целесообразный в сложившихся условиях, при наличии определенного объема исходной информации вариант.

Весьма перспективным для решения инженерно-технических и управленческих задач выглядит метод расстановки приоритетов [13]. Этот метод применяется для того, чтобы поначалу хотя бы слабо структуризировать неструктуризованную, смутно определенную проблему, а затем собрать новую дополнительную информацию о ней, установить взаимосвязи составляющих, дать, где это только возможно, количественные оценки (хотя бы субъективные, экспертные) и перевести проблему в разряд структуризованных, к решению которых уже можно приложить математический аппарат выбора оптимальных решений.

Метод расстановки приоритетов, с одной стороны, достаточно прост, поскольку предусматривает попарное сравнение каких-либо объектов (а психология человека такова, что высказать определенное суждение при парном сравнении намного легче, чем ранжировать несколько объектов по какому-то признаку). С другой стороны, этот метод позволяет с высокой степенью объективности ранжировать объ-



екты, поскольку при обработке результатов парных сравнений применяется совершенный математический аппарат, позволяющий устранять даже последствия возможной нетранзитивности (т. е. нелогичности) выводов экспертов. В качестве экспертов могут выступать специалисты электротехнического профиля с большим опытом работы, а также лица, не имеющие электротехнического образования, но хорошо знающие суть решаемой проблемы. Общие требования к подбору экспертов в данном случае не такие жесткие, как это предусмотрено процедурами проведения экспертных опросов в рамках теории анализа и прогнозирования [13], так как эксперты должны выполнять лишь парные сравнения.

#### **4.12. Управление инновационными процессами в энергетике**

##### ***Формирование системы инновационного менеджмента в энергокомпаниях***

С позиций инновационного менеджмента можно утверждать, что в будущем эффективной станет не та организация, которая хорошо работает сегодня, а та, которая ориентирована на постоянное обновление, на инновации. Все более возрастающая значимость инновационной деятельности как признанного основного и определяющего фактора экономического и социального развития энергетики в целом и отдельных энергетических компаний в частности делает актуальной развитие системы управления инновациями. Направление управленческой деятельности, рассматривающее в качестве объекта управления инновации и процессы их создания и внедрения – инновационные процессы, относится к специальному менеджменту, называемому инновационный менеджмент.

В настоящее время в энергетических компаниях формируются и начинают активно использоваться системы инновационного менеджмента в качестве одной из функциональных систем управления. Эта система предназначена обеспечить реализацию инновационной стратегии и политики посредством управления инновациями и процессами их создания.

При формировании системы инновационного менеджмента в электроэнергетических компаниях целесообразно применить подходы и принципы менеджмента, неоднократно апробированные и положенные в основу международных стандартов, таких, как ISO 9001 : 2000,

ISO 14001 : 2004, OHSAS 18001 : 2007, PAS 55 или интегрированный в международную систему стандартов ISO отечественный стандарт ГОСТ Р ИСО 9001 : 2001 Системы менеджмента качества. Требования.

С целью определения условий и механизмов повышения эффективности деятельности энергокомпаний за счет совершенствования инновационной деятельности в соответствии с Приказом ОАО РАО «ЕЭС России» № 396 от 08.06.2007 г. в 2008 г. была разработана *Концепция развития инновационной деятельности в электроэнергетике* [14]. Концепцией предусматривается возможность достижения названной цели по следующим основным направлениям:

- рост производственной эффективности – за счет внедрения приобретенных или разработанных производственно-технических и организационно-управленческих инноваций;

- получение дополнительных доходов – за счет коммерческого использования принадлежащих компаниям прав на результаты интеллектуальной деятельности;

- рост капитализации – в том числе за счет эффектов от внедрения инноваций и учета прав на результаты интеллектуальной деятельности в качестве нематериальных активов (НМА).

Для каждого из перечисленных выше направлений в Концепции рассмотрена своя схема реализации.

Согласно этой Концепции развитие инновационной деятельности позволяет обеспечить:

- **для компаний электроэнергетики:**

- новый уровень организации производства;

- снижение издержек;

- повышение конкурентоспособности;

- повышение уровней надежности и безопасности;

- улучшение защиты окружающей среды;

- **для научно-проектного комплекса:**

- возможность реализации накопленных идей и разработок;

- улучшить взаимодействие с бизнес-сообществом при ориентации на реальные потребности экономики;

- возможность формирования портфеля заказов, подкрепленного платежеспособным спросом;

- повышение экономической отдачи от основной деятельности;

- **для малого и среднего бизнеса:**

- возможность найти на рынке подготовленные к реализации идеи, позволяющие развивать бизнес;

– возможность коммерциализации собственных идей, превращения в активы интеллектуального и творческого потенциалов;

• **для финансовых институтов:**

– появление новых высокодоходных направлений для инвестиций;  
– новые возможности взаимодействия финансовых институтов с реальным сектором экономики;

• **для государства:**

– включение в активный оборот интеллектуального потенциала, его превращение в интеллектуальный капитал;  
– стабилизацию тарифов на электроэнергию и тепло, снятие социальной напряженности, создание новых рабочих мест, улучшение экологической ситуации, повышение качества жизни населения, повышение энергетической безопасности страны.

В Концепции [14] проанализирована практика использования результатов интеллектуальной деятельности (РИД) и коммерциализации прав на них в рамках управления инновационным процессом в электроэнергетической отрасли, исследованы сильные и слабые стороны инновационной деятельности. Выявлены следующие основные риски, связанные с ведением инновационной деятельности в электроэнергетике:

– возможность присвоения не охраняемых должным образом РИД третьими лицами с последующим предъявлением требований платы за использование прав на эти РИД;

– возможность возникновения негативных налоговых последствий из-за разночтений в законодательстве о бухгалтерском учете и в налоговом законодательстве;

– возможность замедления темпов реформы электроэнергетики в связи с необходимостью переоценки активов (с учетом стоимости нематериальных активов);

– возможная невостребованность созданных ранее РИД в условиях реформирования электроэнергетики с учетом структурных изменений и смены собственников.

По результатам исследования инновационной деятельности в пяти энергокомпаниях (ОАО «Гидро ОГК», ОАО «ЭНИН», ОАО «МРСК Центра», ОАО «НТЦ электроэнергетики», ОАО «ОГК-4») авторы Концепции [14] установили, что в наибольшей степени на предприятиях востребованы организационно-управленческие (управление персоналом, риск-менеджмент и т. п.) инновации (в 60 % случаев), в меньшей – финансово-экономические (ценообразование, система материальных стимулов, система оплаты труда и т. п.) (в 40 % случаев).

Необходимость разработки и внедрения организационно-управленческих инноваций на предприятиях электроэнергетической отрасли обусловлена:

- сложностями и рисками обеспечения эффективности и конкурентоспособности бизнеса (50 % случаев);
- новыми стратегическими целями и задачами компании (33 % случаев);
- возникновением сложной проблемы управления, требующей новаторского подхода к ее решению (17 % случаев).

На рис. 4.4 показано соотношение источников возникновения организационно-управленческих инноваций в энергокомпаниях. Диаграмма построена авторами [14] по данным названных выше энергокомпаний и по расчетам ЗАО «РОСЭКО».



Рис. 4.4. Источники возникновения организационно-управленческих инноваций в энергокомпаниях

Основными сферами деятельности энергокомпаний, подверженными внедрению организационно-управленческих инноваций, в последнее время стали:

- организационная структура энергокомпаний;
- организация и разделение управленческого труда;
- финансы, маркетинг, PR, HR;
- методы и процедуры (регламенты) управления.

Факторы, сдерживающие внедрение управленческих инноваций в энергокомпаниях, даны на рис. 4.5.

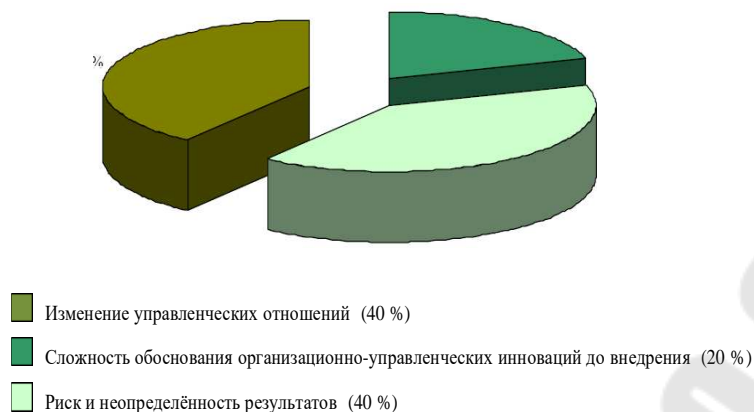


Рис. 4.5. Факторы, сдерживающие внедрение управленческих инноваций в энергокомпаниях

В Концепции [14] утверждается, что энергокомпании испытывают также высокую потребность во внедрении технологических инноваций. В составе основных проблемных технических задач энергокомпаний, при решении которых наиболее велика потребность в технологических инновациях, выделяются следующие:

- применение альтернативных источников энергии (использование энергии ветра, приливной энергии);
- работа сетей среднего напряжения в различных режимах заземления нейтрали;
- повышение пропускной способности ВЛ 10–110 кВ путем применения новых типов провода, компенсации реактивной мощности;
- реконструкция ВЛ с увеличением пропускной способности без замены опор;
- повышение грозоупорности линий с применением линейных ОПН;
- повышение грозоупорности подстанций 35–110 кВ с использованием комплексного подхода глубокой грозозащиты;
- применение устройств стабилизации напряжения в сетях 0,4–10 кВ для групповых потребителей мощностью до 100 кВА;
- проблема дальнего резервирования защиты ВЛ 110 кВ;
- проблема перевода ряда ГРЭС на сжигание увеличенных объемов твердого топлива с минимальными затратами.

Основные источники возникновения технологических инноваций в энергокомпаниях [14] приведены на рис. 4.6.

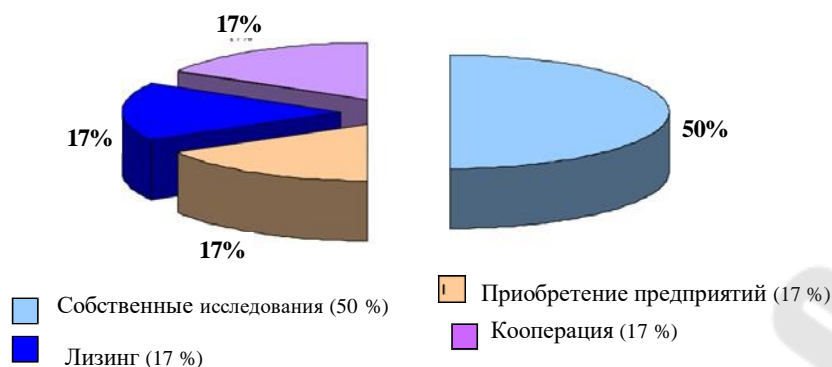


Рис. 4.6. Основные источники возникновения технологических инноваций в энергокомпаниях [14]

Отмечается, что работа по инициированию технологических инноваций в энергокомпаниях организована следующим образом [14]:

- в 40 % случаев решения принимаются по мере необходимости как следствие возникающих внутренних проблем, технологические инновации не планируются и не прогнозируются;
- в 40 % случаев решения принимаются на основе анализа опыта других компаний, возможные технологические инновации планируются, но конкретно не прогнозируются;
- только в 20 % случаев решения принимает координирующий орган на основе плана (программы) организационного развития, технологические инновации носят плановый характер.

В качестве источника инноваций для производственных компаний можно рассматривать наукоемкие компании. При отнесении компании к наукоемкой целесообразно учитывать критерии наукоемкости, традиционно применяемые к отраслям. По применяемой в ОЭСР классификации [15], те отрасли, в продукции которых доля затрат на исследования и разработки составляет не менее 4,5–5 %, относят к высокотехнологичным, а отрасли с долей свыше 10 % – к высоконаукоемким (ВНО). Классификация ОЭСР основана на сложившейся структуре высокотехнологичных отраслей развитых стран.

С целью оказания содействия энергокомпаниям при создании, обеспечении функционирования и развития системы управления инновационной деятельностью Институтом комплексных исследований в энергетике по заказу некоммерческого партнерства «Инновации в электроэнергетике» (НП «ИНВЭЛ») разработаны и выпущены в 2009 г. в качестве официального документа *Методические рекомендации по созданию в энергетических компаниях систем управления инновационной деятельностью* [16].

В качестве методологической основы для создания системы управления инновационной деятельностью в Методических рекомендациях [16] предложено применение процессного и системного подходов, а также использование цикла «PDCA», что дает возможность обеспечить интеграцию этих систем с системой менеджмента качества (СМК), системой экологического менеджмента (СЭМ), системой менеджмента профессиональной безопасности и охраны труда (СМПБиОТ) и другими подобными системами менеджмента, внедряемыми в энергокомпаниях.

Использование метода «PDCA» обосновано тем, что любая деятельность может быть представлена как такая последовательность действий: «Plan» – «Do» – «Check» – «Act» в виде цикла, который описывается следующим образом:

- *планирование (plan)*: разработка целей, инновационных программ и процессов, необходимых для достижения целевых показателей эффективности;

- *организация (do)*: внедрение процессов целей и создание соответствующей функциональной структуры;

- *проверка (check)*: постоянный контроль и измерение эффективности инновационной деятельности в сравнении со значениями целевых показателей эффективности и представление результатов руководству компании для анализа и оценки;

- *действие (act)*: разработка и реализация действий по постоянному улучшению показателей процессов и инновационной деятельности.

В управлении инновационной деятельностью в энергокомпании на основе цикла «PDCA» может осуществляться управление инновационной стратегией, инновационным портфелем и инновационным проектом [17].

В работе [16] приведены также принципы организации инновационной деятельности и управления ею, основанные на использовании процессного и системного подходов, описаны модель, структура, а также сформулированы основные требования к системе управления; даны рекомендации по идентификации основных элементов и процессов инновационной деятельности. Модель системы управления инновационной деятельностью, предложенная в работе, включает три уровня: управление инновационным развитием; управление инновационным процессом и управление инновационным проектом. Это связано с необходимостью решения различных управленческих задач на каждом из уровней, а также с необходимостью применения для их

решения специальных инструментов и методов. Основные положения технологии реализации инновационной деятельности на основе процессного и системного подходов, предлагаемой методическими рекомендациями [16], представлены в приложении Е.

В целом система инновационного менеджмента направлена на решение следующих общих управленческих задач в рамках реализации функций управления:

- обеспечение систематичности управления инновационной деятельностью;
- прогнозирование и планирование направлений развития внешней и внутренней среды электроэнергетической компании;
- формирование процедур и правил осуществления инновационной деятельности;
- организация и координация работ в процессе управления инновационной деятельностью;
- активизация и стимулирование инновационной деятельности;
- контроль, анализ и улучшение результативности и эффективности инновационной деятельности.

В качестве специфических задач системы инновационного менеджмента электроэнергетических компаний можно назвать:

- исследование энергетического рынка и внешней среды (изучение и регулирование спроса, конкурентов, поставщиков, посредников, работа с потребителями, органами государственной власти, формирование тарифной политики);
- прогнозирование состояния рынка, развития технологий, изменений факторов внешней среды и т. д.;
- планирование инноваций и их ранжирование по направлениям деятельности, срокам реализации, стратегической и операционной направленности и т. д.;
- анализ рисков, определение методов минимизации возможных потерь и управления рисками, включая страхование;
- управление инновационными проектами, включая прогнозирование, планирование, бюджетирование, мониторинг, контроль, мотивацию, учет и анализ и т. д.;
- исследование рынков ресурсов и нахождение подрядчиков;
- осуществление комплексного анализа затрат, цен, объемов производства, продажных цен (тарифов) и т. д.;
- оценка эффективности инноваций и др.

Для управления технической политикой, координации работ по разработке и организации внедрения новой техники и технологий, на-



правленных на повышение эффективности функционирования электросетевого комплекса, для снижения издержек его эксплуатации и повышения надежности работы ЕНЭС в соответствии с «Положением о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС»» создается Координационный научно-технический совет ОАО «ФСК ЕЭС» [18]. Он является постоянно действующим совещательным органом ОАО «ФСК ЕЭС».

Координационный научно-технический совет осуществляет:

- организационно-методическое руководство разработкой и внедрением новой техники и технологий;
- разработку предложений по совершенствованию состава работ по разработке и внедрению новой техники и технологий, по конечным и промежуточным работам, срокам их достижения, исполнителям конкретных работ, перечню научных проблем, выделяя приоритетные направления и задания;
- экспертизу предложений по разработке и внедрению новой техники и технологий, представленных на координационный научно-технический совет;
- анализ выполнения работ по разработке новой техники и технологий и подготовку соответствующих заключений и предложений;
- подготовку предложений об открытии новых, наиболее важных для ОАО «ФСК ЕЭС» работ по разработке новой техники и технологий и о прекращении действия договоров по работам, потерявшим свое значение для компании.

В дополнение к *Положению о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС»* [18] разработано *Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе* [19]. Положение [19] определяет совокупность управленческих, технических и организационных мероприятий на ближайшую и долгосрочную перспективу, направленных на повышение эффективности, технического уровня, надежности и безопасности распределительных электрических сетей на основе апробированных при эксплуатации, научно обоснованных технических решений и технологий. Срок действия Положения: до 2015 г. Положение подлежит корректировке 1 раз в 2 года.

Определяя основные направления и содержание технической политики на уровне ФСК ЕЭС [18] и на уровне распределительных электрических сетей [19], оба названных выше Положения содержат показатели прогрессивности технических решений и технологий. Эти показатели условно делятся:

- на функциональные и технологические;

- экономические;
- экологические, безопасности.

Управление инновационным проектом должно осуществляться на всех этапах – от теоретической идеи через научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы до изготовления первых образцов и организации серийного производства. Названные этапы характерны и для обычной разработки или обычного инвестиционного проекта, не имеющего инновационных признаков.

## Литература

1. Лысенкова, М. В. Методики и методы оценки эффективности инвестиционно-проектной деятельности: сравнительный анализ и практические рекомендации / М. В. Лысенкова, А. В. Молчанов // Белорусский экономический журнал – 2022. – № 2. – С. 48–70. – DOI 10.46782/1818-4510-2022-2-48-70
2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) / Офиц. изд. – М. : Экономика, 2000.
3. Волков, И. М. Проектный анализ : учеб. для вузов. – И. М. Волков, М. В. Грачева. – М. : Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 423 с.
4. Справочник по проектированию электроснабжения / под. ред. Ю. Г. Барыбина [и др.] – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
5. Карпова, Э. Л. По поводу статьи «Определение экономически целесообразной плотности тока для кабельных линий 6–10 кВ» / Э. Л. Карпова // Промышленная энергетика. – 1987. – № 4. – С. 58–59.
6. Зельцбург, Л. М. Экономика электроснабжения промышленных предприятий / Л. М. Зельцбург. – М. : Высш. шк., 1973. – 272 с.
7. Укрупненные показатели стоимости строительства. Элементы электроснабжения промышленных предприятий.
8. Ермилов, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Ермилов. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
9. Зельцбург, Л. М. О методике определения годовых нагрузочных потерь электроэнергии / Л. М. Зельцбург, Э. Л. Карпова // Электричество. – 1985. – № 11. – С. 49–52.
10. Указания по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий // Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – С. 288–326.

11. Перспективы и условия внедрения новшеств : монография / под ред. О. В. Федорова. – М. : ИНФРА-М, 2007.

12. Техничко-экономические обоснования в дипломном проектировании : учеб. пособие / О. В. Федоров [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2010.

13. Блумберг, В. А. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов / В. А. Блумберг, В. Ф. Глущенко. – Л. : Лениздат, 1982.

14. Концепция развития инновационной деятельности в электроэнергетике : разработана в соответствии с Приказом ОАО РАО «ЕЭС России» от 08.06.2007 г. № 396. – М., 2008.

15. Национальная инновационная система и государственная инновационная политика Российской Федерации : базовый докл. к обзору ОЭСР Нац. инновац. системы Рос. Федерации. – М. : Минобрнауки РФ, 2009.

16. Методические рекомендации по созданию в энергетических компаниях систем управления инновационной деятельностью / Офиц. изд. – М. : Ин-т комплекс. исслед. в энергетике (по заказу НП «ИНВЭЛ»), 2009.

17. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь: перевод : ISO 9000 : 2005 – Группа компаний «ИНТЕР-СЕРТИФИКА», 2005.

18. Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС»: приложение 4 к протоколу Совета директоров ОАО «ФСК ЕЭС» от 02.06.2006 г. № 34. – М. : ФСК ЕЭС, 2006.

19. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе : Приложение 1 к протоколу заседания Правления ОАО РАО «ЕЭС России» от 24.07.2006 г. № 1504пр/1. – М. : ФСК ЕЭС, 2006.

## **Глава 5. МЕТОДЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

**5.1. Энергоемкость и энергоэффективность. (Оценка эффективности энерготехнологических процессов). 5.2. Эксергия и эксергетический КПД. (Эксергетический баланс системы, взаимодействующей с окружающей средой, направления методов оценки эффективного использования энергоресурсов).**

### **5.1. Энергоемкость и эффективность**

Разработанная теория и методика макрообменного анализа энерготехнологических агрегатов, в том числе при совместно протекающих физико-химических и тепловых процессах в режиме управления позволяет на научно-теоретической основе определять основные материальные и энергетические потоки на основе тепломассообменных КПД и обобщенных химико-тепловых КПД – базовые параметры при создании и проектировании металлургических процессов, оценивать «узкие места» при разработке материало- и энергосберегающих технологий, вырабатывать ориентиры в оптимизации и совершенствовании процессов и подойти к созданию стратегических моделей оптимального управления технологическими процессами. Тем самым проложен термодинамический «мостик» и к оценке важнейших показателей энергосбережения: энергоемкости продукции и глобального энергетического КПД.

Рассмотрение материалов данной главы показывает тесную связь энергоемкости производимой продукции и тепломассообменной эффективности (КПД). Выяснено, что основным, решающим фактором снижения энергоемкости является именно увеличение КПД энерготехнологических процессов. Это увеличение может проходить как путем интенсификации собственно тепломассообменных процессов (внутренняя компонента), так и путем использования регенераций, а также снижения расходных материальных коэффициентов (внешняя компонента).

Кроме того, общепринятая методика определения и представления энергоемкости в виде материальных и тепловых балансов не открывает возможности для проведения оптимизации процессов. Использование термодинамических равновесных и неравновесных (кинетических) взаимодействий, характерных для энерготехнологических процессов, позволяет более четко выявлять основные факторы энергоемкости, наметить подходы к управлению, т. е. к поиску оптимальных критериев в проблемах энергосбережения.

В настоящее время имеет место значительное старение основных фондов страны. В полной мере это касается и энерготехнологических агрегатов. Рано или поздно необходимо «встанет во весь рост» вопрос технического перевооружения.

В связи с неизбежной существенной реконструкцией в новых условиях многих заводов и цехов, большим объемом капитального строительства следует определить основные пути совершенствования и модернизации теплотехнического оборудования. *При этом выдвигаются задачи не только постепенного эволюционного совершенствования, но и существенного повышения технического уровня агрегатов.*

Например, имеющаяся практика реконструкции печей, которую можно охарактеризовать как частичная реконструкция, свидетельствует, что при таком эволюционном подходе задача интенсификации тепловой работы печей и агрегатов, несмотря на достигаемый существенный эффект, *решается не в полной мере.* Как уже отмечалось, у большинства работающих пламенных печей тепловой КПД не превышает 30–50 %, коэффициенты регенерации не превышают 30 %. Шахтные печи и воздухонагреватели имеют очень большие габариты.

О возможностях теплотехнической реконструкции в металлургии России свидетельствует тот факт, что хотя удельные расходы топлива за период 1980–1985 гг. снизились, но они в большинстве случаев были выше достигнутых за рубежом.

Так, удельный расход топлива на выплавку чугуна с 1980 г. по 1985 г. снизился с 645 до 631,5 кг у. т./т (на 2,1 %); в США он составлял 600 кг у. т./т, во Франции – 511, в Японии – 480 (причем, на лучших печах Японии — 406 кг у. т./т). Таким образом, даже при ориентировании на эти цифры снижение удельного расхода топлива при выплавке чугуна может достигать 25 % [1, 2]. Повышенный удельный расход топлива на выплавку чугуна в нашей стране объяснялся в период 1980–1985 гг. главным образом отставанием в подготовке ших-

ты, различием в сортаментах чугунов, большим числом устаревших печей.

Несмотря на проведение в СССР на ряде заводов в 1970–1980 гг. технического перевооружения печного хозяйства (оснащение высокопроизводительными нагревательными колодцами, многозонными методическими печами, печами с шагающими балками и т. д.), удельные расходы топлива на нагрев проката оставались существенно выше достигнутых за рубежом. Так, средний удельный расход топлива на нагрев проката, кг у. т./т, составил в 1985 г. в СССР – 125,5; в США – 63; в Японии – 47,8–54,6; в ФРГ – 47,4–58,0; во Франции – 28,5. Таким образом, потенциальные возможности снижения удельных расходов топлива только при ориентировке на эти цифры составляют 30–60 % (за 1980–1985 гг. он снизился всего на 3 %). За период перестройки и реформ энергоемкость продукции, как уже отмечалось, еще больше увеличилась [1, 2].

Для снижения энергоемкости продукции в развитых странах в большинстве случаев применяют непрерывную разливку металла (при этом отпадает необходимость в расходе тепла на нагрев слитков в нагревательных колодцах), используется горячий посад заготовок, все печи оснащены рекуператорами и реализуют высокий подогрев воздуха.

Представляется, что теплотехники с целью резкого снижения энергоемкости должны поставить в основу реконструкции энерготехнологических агрегатов и печного хозяйства достижение наивысших уровней эффективности тепловой работы, что вполне обеспечивается наличием резервной области активной интенсификации. Можно вполне поставить задачу повсеместного достижения теплового КПД 80–90 %, как у действующих доменных воздухонагревателей.

При этом нужно использовать значительное увеличение степеней регенерации теплоты и такие интенсивные факторы теплообмена, как струйный нагрев, увеличение равномерности нагрева, сжигание топлива на поверхности нагрева и в слое. Нужно подумать о более активном использовании и такого фактора как увеличение поверхности нагрева. Проектные организации, как правило, выдают агрегаты с «зажатыми» площадями нагрева, с неразвитыми зонами утилизации, чрезмерно экономя на капитальных вложениях. Тепловые агрегаты и печи часто становятся лимитирующим звеном технологической эффективности, что недопустимо. Однако, как показывают последние данные, существенная экономия капитальных вложений, например, в

металлургических цехах, может быть достигнута за счет ликвидации мостовых кранов, а высвободившиеся средства можно направить на реконструкцию печей и теплотехническую интенсификацию, на экономию энергоресурсов. Для шахтных печей и воздухонагревателей актуальным является применение материалов и насадок с существенно развитой удельной поверхностью нагрева. Так, применение насадок с турбулизирующими выступами и горизонтальными проходами в разработке ВНИИМТ уже позволяет уменьшить объем насадки на 30 % [3]. Применение же насыпных (шариковых) насадок воздухонагревателей позволяет уменьшить в 5 раз объем и в 20 раз высоту насадки. В целом энергосбережение можно поднять в 1,5–2 раза, существенно улучшить вопросы нормирования, нацелить проектные организации и заводы не на частичную, а на полную реконструкцию энерготехнологических агрегатов. При решении задач частичной и полной реконструкции основой предпроектных расчетов и оптимизации должны стать современные методы математического моделирования процессов сложного теплообмена.

## 5.2. Эксергия и эксергетический КПД

Для оценки эффективности энерготехнологических процессов все более применение находят методы, основанные на совместном использовании первого и второго законов термодинамики. Это связано с тем, что обычно применяемая система КПД, базирующаяся на первом законе термодинамики, в соответствии с уравнением теплового баланса учитывает лишь количество тепла и не рассматривает его качество. Однако при оценке целесообразности и эффективности использования теплоносителя весьма существенен и учет его качества.

Действительно, одинаковое теплосодержание продуктов сгорания, например:  $Q = V_r c_r t_r = 1000 \text{ МВт}$ , может быть получено при температуре газов 50 °С и при температуре 1000 °С, отличаясь лишь количеством газов. Однако ясно, что для практического использования газы, имеющие более высокую температуру, обладают большей ценностью, чем низкотемпературные газы, несмотря на значительно большее количество последних. По этой же причине окружающая нас среда, обладающая неисчерпаемыми запасами низкопотенциального тепла, часто не имеет практической энергетической ценности.

Для термодинамической оценки эффективности энерготехнологических агрегатов применяется метод эксергетических балансов.

*Под эксергией понимают максимальную работу, которая может быть совершена при обратимом переходе какой-либо термодинамической системы из состояния с заданными параметрами в состояние равновесия с окружающей средой.*

Эксергетический баланс [4, 5–9] отражает равенство подведенной к системе эксергии и отведенной от нее эксергии и потерь. В отличие от энергетического баланса, основанного на первом законе термодинамики, эксергетический баланс учитывает различие между неограниченно превратимыми видами энергии (механической, электрической и др.) и ограниченно превратимыми (внутренней, тепловой, химической и др.). Все реальные технические процессы происходят в условиях взаимодействия с окружающей средой. С этой точки зрения не любая энергия пригодна для практического использования, и именно эксергия определяет техническую ценность (пригодность) различных видов энергии.

Эксергия определяется количеством механической, электрической или другой неограниченно превратимой энергии, которая может быть получена или должна быть затрачена при обратимом переходе системы из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой. Она в настоящее время широко используется для оценки процессов, в которых участвуют различные по качеству виды энергии.

*Основными задачами эксергетического анализа являются:*

*– оценка всех энергоресурсов и энергоносителей, в том числе и вторичных, в пределах одного технологического процесса, цеха, предприятия, отрасли, всего народного хозяйства;*

*– определение степени термодинамического совершенства технических систем, установок, аппаратов по проектным и эксплуатационным данным; определение на всех этапах преобразования и использования энергии потерь эксергии во всех элементах систем и установок;*

*– термодинамическая оптимизация систем, установок, их элементов.* Эксергетический метод термодинамического анализа находит в настоящее время применение при анализе таких процессов, как металлургические, теплосиловые, низкотемпературные и холодильные, химико-технологические и т. д.

Эксергетический анализ существующих систем проводится в следующей последовательности:

*– рассматриваемая система (или часть ее) мысленно отделяется некоторой замкнутой контрольной поверхностью от других объектов;*



– выбираются параметры окружающей среды (давление  $p_0$  и температура  $T_0$ ). При анализе открытых систем необходимо знать также и состав окружающей среды, принимаемой за начало отсчета (или парциальные давления компонентов в точке отсчета);

– определяются составляющие эксергетического баланса на входе в систему и выходе из нее. На основании эксергетического баланса всей установки и отдельных ее элементов строится диаграмма потоков эксергии;

– проводится оценка совершенства рассматриваемой системы, определяется эксергетический КПД системы и отдельных ее элементов, оцениваются относительные эксергетические потери.

*Как и для составления энергетического баланса, при составлении эксергетического баланса необходимо знать:*

- *цель и задачи анализа;*
- *технологическую схему анализируемой системы (элемента) с указанием всех входящих и выходящих потоков энергии и вещества;*
- *термодинамические параметры потоков вещества и количества входящих и выходящих потоков энергии и теплоты, температурные уровни тепловых потоков, а также особенности процесса, на основании которых могут быть приняты допущения при определении эксергии потоков;*
- *материальный баланс;*
- *энергетический баланс.*

Эксергия потока вещества определяется двумя составляющими: физической (термомеханической) и химической (нулевой) эксергией. Физическая эксергия определяется разностью параметров вещества ( $T, p$ ) и окружающей среды ( $T_0, p_0$ ).

Для расчета физической эксергии и пересчета ее на другие параметры среды отработана единая методика [5, 6]. Для расчета химической эксергии предложена модель локальной окружающей среды [6, 9].

Принцип локализации окружающей среды применительно к анализируемой технической системе в сочетании с методикой Я. Шаргута [5] позволяет (за исключением обоснования выбора веществ отсчета) создать модель естественной окружающей среды, которая должна удовлетворять трем основным условиям:

- параметры окружающей среды (температура  $T_0$ , давление  $p_0$  и состав) должны оставаться неизменными при ее взаимодействии с рассматриваемой технической системой;

– среда должна быть равновесной, т.е. характеризоваться нулевой эксергией;

– значения эксергии веществ, рассчитанные относительно подобной модели, должны практически совпадать с минимальной работой, необходимой для их извлечения из окружающей среды, переработки и синтеза в условиях реального окружения рассматриваемой технической системы.

Принцип локализации окружающей среды  $R$  основан на том, что из нее выделяется некоторая локальная, но достаточно большая зона  $R'$ , полностью соответствующая по своему составу реальным условиям работы рассматриваемой технической системы (рис. 5.1) [6].

При выборе веществ отсчета в  $R$  для расчета химической эксергии необходимо руководствоваться принципом [9]: «в локальную окружающую среду  $R'$  должны входить только те вещества отсчета, до которых могут девальвироваться элементы и соединения, участвующие в рассматриваемом процессе». Таким образом, локальная зона  $R'$  включает зону  $M$  добычи сырья. Отходы производства и вторичные энергетические ресурсы сбрасываются в  $R'$ ; если же они используются, то граница  $K$  соответствующим образом расширяется. Необходимые энергетические ресурсы получаются из  $N$ .

Алгоритм расчета включает в себя шесть этапов.

Этап I – подготовка данных, необходимых для проведения границ локальной окружающей среды  $R'$ . Для этого выявляются все вещества, участвующие в рассматриваемом процессе, а также сырье и материалы, из которых они должны быть получены.

Этап II – проведение границы подсистемы  $R'$ .

Этап III – приложение методики Я. Шаргута [5] к локальной окружающей среде. На этом этапе, используя принципы максимальной девальвации, проводится разделение рассматриваемых веществ на группы, принадлежащие подсистеме  $R'$  и подсистеме  $M$ . Для веществ группы  $M$  по методике Я. Шаргута выбираются результирующие и дополнительные вещества отсчета из набора девальвированных веществ подсистемы  $R'$ .

Этап IV – выявление материалов, которые должны находиться в пределах рассматриваемой системы  $R'$ , для того чтобы получить из них результирующие и дополнительные вещества отсчета. Установление набора веществ отсчета при фиксированных  $T_0, p_0$  в сочетании с сырьем для  $R$  определяет окончательные границы  $R$  с включением в общую (большую) систему месторождений материалов, содержа-

щих результирующие и дополнительные вещества отсчета. Тем самым уточняется решение, принятое на II этапе.

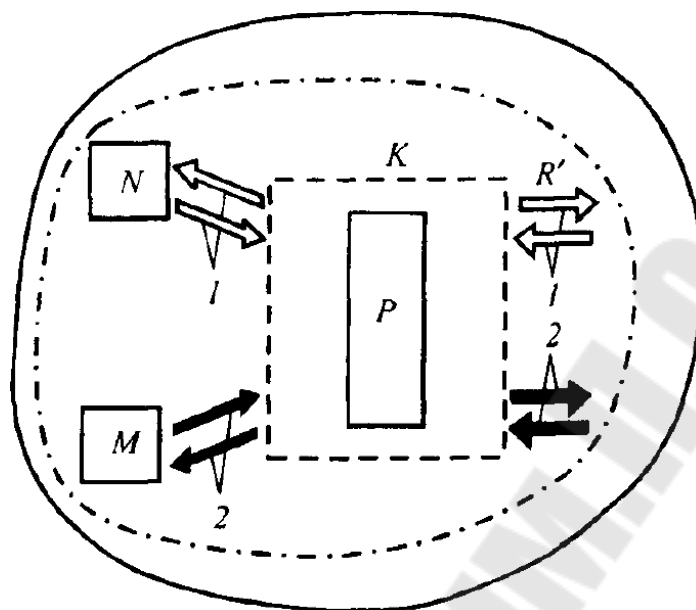


Рис. 5.1. Схема расположения источников (приемников) вещества и работы ( $M, N$ ), рабочей системы ( $P$ ), локальной среды ( $R'$ ) и окружающей среды ( $R$ ):  
1 – энергетические потоки; 2 – потоки массы;  $K$  – контрольная поверхность

Этап V – распределение материалов, содержащих все рассматриваемые вещества, между подсистемами  $R'$  и  $M$ . При этом анализируется их состав по двум признакам: входят ли в состав материалов только вещества группы  $R'$ ; входят ли в состав материалов (в данном случае сырья) только вещества группы  $M$ .

В результате можно выделить три группы веществ: группу  $M$  (сырье), группу  $R'$  и смешанную группу  $R' - M$ , в состав которой входят вещества как группы  $R'$ , так и группы  $M$ . В этой смешанной группе необходимо выделить части сырья, принадлежащие группам  $M$  и  $R'$ , с целью определения концентрации веществ в материалах каждой группы. Одновременно определяется концентрация рассматриваемых девальвированных веществ, входящих в состав материалов группы  $R'$ . Возможен и случай, когда такой материал – рассматриваемое девальвированное вещество.

Этап VI – определение эксергии рассматриваемых веществ по алгоритму, который рассмотрен ниже.

На рис. 5.2 показана схема эксергетического баланса системы в общем виде.

Исследуемый технический объект  $P$  отделен контрольной поверхностью  $K$  от локальной окружающей среды, в которой находятся источники (приемники) энергии и потоков вещества. Для рабочей системы можно записать эксергетический баланс:

$$\Sigma E_{\Sigma}' + \Sigma E_q' + \Sigma E_{\text{топ}} + \Sigma G_i' e_i' = \Sigma E_{\Sigma}'' + \Sigma E_q'' + \Sigma G_i'' e_i'' + \Sigma D, \quad (5.1)$$

где  $\Sigma E_{\Sigma}'$  и  $\Sigma E_{\Sigma}''$  – эксергия энергетических потоков на входе и выходе системы;  $\Sigma E_q'$  и  $\Sigma E_q''$  – эксергия теплоты на входе и выходе системы;  $\Sigma G_i' e_i'$  и  $\Sigma G_i'' e_i''$  – эксергия потоков вещества на входе (сырье) и выходе (продукты, полупродукты и т. д.) системы;  $\Sigma E_{\text{топ}}$  – эксергия топлива на входе в систему;  $\Sigma D$  – потери эксергии в системе.

Для определения значений эксергии в физических процессах необходимо знать значение энтальпий и энтропии в рассматриваемых точках или значение теплоемкостей.

Эксергия потока при условии, что кинетической и потенциальной энергией можно пренебречь, определяется по формуле, МВт:

$$E_m = H - H_0 - T_0(S - S_0), \quad (5.2)$$

где  $H$  и  $H_0$  – энтальпия потока и окружающей среды;  $S - S_0$  – изменение энтропии горячего источника, равное приросту энтропии окружающей среды.

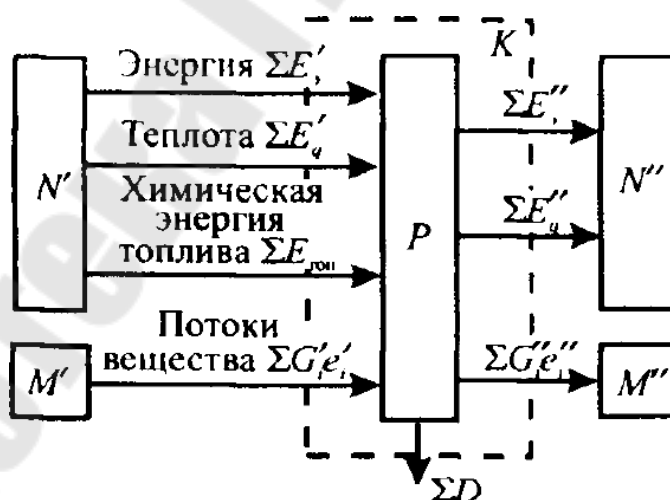


Рис. 5.2. Схема эксергетического баланса системы, взаимодействующей с окружающей средой и находящимися в ней объектами:

$P$  – рабочая система;  $N'$ ,  $M'$  – источники энергетических потоков и потоков вещества;  $N''$ ,  $M''$  – приемники энергетических потоков и потоков вещества

Работоспособность (эксергия) тепла  $Q$ , МВт, при температуре  $T$  может быть определена из соотношения, справедливого для обратимого цикла Карно:

$$L = E_T = Q(1 - T_0/T), \quad (5.3)$$

где  $T_0$  – абсолютная температура окружающей среды.

Коэффициент  $\left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$  учитывает качество тепла при температуре

окружающей среды  $T_0$ . При температуре теплоносителя  $T = T_0$  ценность его равна нулю. Чем выше температура теплоносителя  $T$ , тем больше величина эксергии, тем больше ценность этого тепла. Потери эксергии вследствие необратимости процесса горения топлива можно определить, исходя из равенства, МВт:

$$E^{\text{гор}} = E_{\text{топ}} + E_{\text{в}} - E_{\text{п.с}}, \quad (5.4)$$

где  $E_{\text{топ}} = eB$ ;  $E_{\text{в}}$ ;  $E_{\text{п.с}}$  – соответственно эксергии топлива (химическая и физическая), воздуха и продуктов сгорания. Удельная эксергия топлива  $e$  близка по величине к теплоте сгорания топлива:  $e \approx 1,04Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ , МДж/кг (или МДж/м<sup>3</sup>).

Эксергия продуктов сгорания определяется для адиабатической температуры. При подогреве воздуха, идущего для горения топлива, потери эксергии от необратимости горения уменьшаются. Это объяс-

няется большим повышением эксергии продуктов сгорания  $E_{\text{п.с}}$

(вследствие повышения температуры горения) по сравнению с повышением эксергии горячего воздуха  $E_{\text{в}}$ .

Потери эксергии от необратимого теплообмена можно определить по формуле, МВт,

$$E^{\text{т}} = (E_1 - E_2) - (E_4 - E_3) - E_{\text{пот}}^{\text{н.о}}, \quad (5.5)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – эксергии греющего потока теплоносителя на входе и на выходе рассматриваемого участка;  $E_4$  и  $E_3$  – эксергия нагреваемого потока на выходе и на входе рассматриваемого участка;  $E_{\text{пот}}^{\text{н.о}} = Q_{\text{н.о}}(1 - T_0/T_{\text{ср}})$  – потери эксергии рассматриваемым участком от наружного охлаждения.

Потери эксергии от смешения потоков с различной температурой ( $T_1$  и  $T_2$ ), что имеет место, например, при подсосах воздуха в камеры сгорания, можно определить по формуле, МВт:

$$E^{см} = E_{T_1} + E_{T_2} - E_{см}, \quad (5.6)$$

где  $E_{T_1}$ ,  $E_{T_2}$  – эксергии смешивающихся потоков;  $E^{см} = E_{T_1} + E_{T_2} - E_{см}$ , – эксергия потока после смешения.

Для оценки совершенства системы используется эксергетический КПД, который должен соответствовать следующим условиям:

1) КПД должен представлять собой такое отношение, у которого числитель (полезный эффект) и знаменатель (затраты) выражены в качественно однородных величинах полностью превратимой энергии, т. е. эксергии;

2) разность между знаменателем и числителем должна быть равна потере полностью превратимой энергии (эксергии) от необратимости в системе;

3) КПД должен отражать степень реализации цели, поставленной перед технической системой.

Из второго условия следует, что КПД для реальной системы  $\eta_{экс} \leq 1$ , а потери  $E_{пот} \leq 0$ . Для идеальной системы  $\eta_{экс} = 1$  и  $E_{пот} = 0$ .

Третье условие отражает тот факт, что для инженерной практики важна не просто термодинамическая эффективность, а эффективное выполнение системой своего целевого назначения.

Таким образом, эксергетический КПД представляет собой отношение полезно усвоенной эксергии к эксергии затраченной и определяется по формуле, %:

$$\eta_{экс} = E_{пол} / E_{затр} = (E_{затр} - E_{пот}) / E_{затр} 100. \quad (5.7)$$

Эксергетический баланс применительно к энфготехнологическим процессам дает возможность не только оценить качество полезно затраченного тепла и всех потерь, найденных из теплового баланса, но и выявить потери, которые в тепловом балансе вообще не находят отражения. Такими потерями, в частности, являются потери из-за необратимости горения топлива, потери из-за необратимости теплообмена, потери при смешении.

Сопоставим тепловые и эксергетические КПД ряда энерготехнологических агрегатов (табл. 5.1).

Как следует из табл. 5.1, эксергетические КПД в рассматриваемых случаях в 1,5–2 и более раз оказываются ниже соответствующих тепловых КПД.

Такие относительно низкие эксергетические КПД обусловлены значительными потерями, возникающими в процессе передачи тепла от топлива, обладающего химической энергией высокого потенциала, к низкопотенциальному пару.

В случае парогенератора значение потери с уходящими газами по эксергетическому балансу составляет около 1 % вместо 7 % по тепловому балансу, что объясняется низким температурным потенциалом уходящих газов, а следовательно, и относительно малой их ценностью.

Низкотемпературные потери от наружного охлаждения в эксергетическом и тепловом балансах имеют примерно одинаковые значения (0,3–0,5 %).

Отсутствующие в тепловом балансе парогенератора потери от необратимости процесса горения и потери при теплообмене в эксергетическом балансе имеют значения каждая около 24–25 %. Присосы воздуха в парогенератор определяют потери эксергии около 2 %.

Эксергетический анализ огнетехнического процесса в парогенераторе указывает, например, на пути повышения его термодинамической эффективности. Так, повышение температуры подогрева воздуха вызывает повышение температуры горения, что, в свою очередь, приводит к снижению потери эксергии при горении. Повышение параметров пара приводит к уменьшению потерь от необратимости теплообмена.

Таблица 5.1

Тепловые  $\eta_T$  и эксергетические  $\eta_{\text{экс}}$  КПД энерготехнологических агрегатов [4, 7]

Агрегат	Парогенератор	Трубчатая печь подогрева отбензиненной нефти	Циклонная энерготехнологическая установка
$\eta_T, \%$	90	75,5	38,8/81,7*
$\eta_{\text{экс}}, \%$	46	34,3	24,2/58,0*

Примечание. \*Числитель –  $\eta_T$  циклона; знаменатель – топливно-энергетический КПД;  $\eta_{\text{экс}}$  – КПД с учетом одновременного получения и перегрева пара.

В трубчатой печи наибольшие потери также имеют место в камере сгорания: потери от необратимости процесса горения – 43 % и от необратимости процесса излучения – 37,3 % от общих потерь, соответственно 23,7 и 20,3 % в эксергетическом балансе. В циклонной установке потери при горении составляют 19 % и при теплообмене – 11,9 % от эксергии топлива.

Совершенствование процессов горения и теплообмена является, таким образом, наиболее значимым источником повышения эксергетического КПД энерготехнологических процессов.

В заключение отметим направления в методах оценки наиболее эффективного использования энергоресурсов.

Таких главных направлений можно выделить четыре.

*1. Разработка и выбор технологических процессов, обеспечивающих наименьшую энергоемкость (ТГЧ) конечной продукции, естественно, при требуемом объеме и потребительских свойствах этой продукции.*

*2. Обеспечение первоочередной экономии наиболее дефицитных видов топлива (например, металлургического кокса).*

*3. Повышение эффективности тепловой работы энерготехнологических агрегатов и интенсификация процессов теплообмена.*

*4. Обеспечение улучшения экологической обстановки.*

В соответствии со спецификой отраслей промышленности, меняющейся конъюнктурой производства и потребления продукции на первый план может выходить то или иное направление, определяющее на данном этапе главные магистральные пути технического процесса в области использования энергоресурсов.

Проблемы, концепции эффективности являются не только предметом приложения к техническим процессам, но глубоко рассматриваются и на философском уровне.

## Литература

1. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов. (Экономия топлива и энергии) / А. П. Егорычев, В. Лисиенко, С. Е. Розин, Я. М. Щелоков. – М. : Металлургия, 1990. – 149 с.

2. Лисиенко, В. Г. Основные факторы энергоемкости / В. Г. Лисиенко // Известия вузов. Энергетика. – 1990. – № 3. – С. 3–16.

3. Ахмедов, Р. Б. Рациональное использование газа в промышленных установках : справ. пособие / Р. Б. Ахмедов, О. Н. Брюханов, В. Г. Лисиенко / под ред. А. С. Иссерлина. – СПб. : Недра, 1995. – 352 с.



4. Аракелов, В. Е. Методические вопросы экономии энергоресурсов / В. Е. Аракелов, А. И. Кремер. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 190 с. : ил.

5. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела ; пер. с пол. Ю. И. Батурина и Д. Ф. Стржижовского ; под ред. В. М. Бродянского. – перераб. и доп. изд. – М. : Энергия, 1968. – 279 с.

6. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.

7. Сидельковский, Л. Н. Парогенераторы промышленных предприятий / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев. – М. : Энергия, 1978. – 336 с.

8. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки : учеб. пособие / А. П. Несенчук, В. Г. Лисиенко, В. И. Тимошпольский

[и др.] ; под ред. В. Г. Лисиенко. – Минск : Выш. шк., 1988. – 320 с.

9. Сорин, М. В. Расчет химической эксергии на основе модели локальной окружающей среды / М. В. Сорин, В. М. Бродянский // Теоретические основы химической технологии. – 1985. – Т. XIX, № 1. – С. 91–99.

## **Глава 6. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

**6.1. Цели устойчивого развития. (Энергетика индустриальной фазы, энергетика постиндустриальной фазы, трансформации энергетики в концепции «3D» (Digitalization – цифровизация, Decentralization – децентрализация, Decarbonization – декарбонизация). 6.2. Направления динамического изменения современных энергосистем. 6.3. Понятия интеллектуализации, цифровизации, децентрализации и декарбонизации энергетики. 6.4. Сценарии развития энергетики мира, работанные Международным энергетическим агентством). 6.5. Инвестиции в мировую энергетику.**

### **6.1. Цели устойчивого развития**

В мировой энергетике происходят существенные изменения, она трансформируется весьма динамично. Уходит в прошлое классическая энергосистема, объединяющая несколько крупных электростанций и централизованную систему передающих и распределительных сетей. При этом переход к новой системе экологичного энергоснабжения с использованием большого количества возобновляемых источников в комбинации с накопителями энергии и крупными электростанциями, включая атомных, все еще необходимыми для обеспечения стабильного электроснабжения, требует совершенно иного подхода. Растущее число производителей энергии заставляет полностью реорганизовать управление энергосистемой.

Эффективное управление сложной энергосистемой возможно только при условии, что электрические сети станут более интеллектуальными и будут широко использовать возможности цифровизации.

По данным Мирового энергетического конгресса, в первые 20 лет XXI в. рост энергопотребления выше, чем за весь XX в. при увеличении населения мира до 8 млрд человек. Такие экологические угрозы, как парниковый эффект и необратимые изменения климата, истощение озонового слоя, кислотные дожди (осадки), сокращение биологического разнообразия, увеличение содержания токсичных веществ в окружающей среде, требуют новой стратегии развития че-

ловечества, предусматривающей согласованное функционирование экономики, промышленности и экосистемы.

Учитывая сложившиеся в мире положение по обеспечению устойчивого развития человечества, под руководством Организации Объединенных Наций разработаны **Цели устойчивого развития (ЦУР)** [1].

**Цели в области устойчивого развития (ЦУР)** (Sustainable Development Goals (SDGs) – набор целей для будущего международного сотрудничества, которые заменили собой Цели развития тысячелетия (25.09.2015 г.). Эти цели планируется достигать с 2015 по 2030 г. Итоговый документ «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г.» (Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development) содержит 17 глобальных целей и 169 соответствующих задач. *Цель 7 сформулирована так: «Обеспечение доступа к недорогостоящим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех»* [1–3].

Парижское соглашение было принято всеми 196 сторонами Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКООНИК) на 21-й Конференции сторон РКООНИК, прошедшей в Париже 12 декабря 2015 г. В этом соглашении все страны обязуются принять меры к тому, чтобы повышение общемировой температуры составило значительно менее 2 °С, а с учетом серьезности существующих рисков – стремиться ограничить рост температуры уровнем 1,5 °С. По состоянию на 01.03.2021 г., Парижское соглашение по климату было ратифицировано 191 сторонами и 168 сторон предоставило свои национальные планы Секретариату РКООНИК [3].

Проблема энергообеспеченности страны является одной из главных для обеспечения условий закрепления независимости и социально-экономического развития любого государства.

Как отмечается в [4], в настоящее время мир стоит перед насущной необходимостью решить проблему, которая была сформулирована ООН как «Энергетическая трилемма (Energy Trilemma)»:

- энергетическая безопасность (эффективность и надежность организации поставки первичной энергии из национальных и зарубежных источников, надежность энергетической инфраструктуры и способность поставщиков энергии удовлетворить текущий и будущий спрос);
- энергетическое равенство (наличие и доступность энергии для всех категорий потребителей энергии);
- экологическая устойчивость (соответствие и эффективность предложения и спроса энергии к требованиям экологии, с учетом раз-

вития возобновляемых источников и других малоуглеродистых источников).

Эти задачи были конкретизированы в Докладе Генерального секретаря ООН [3] на заседании Генеральной Ассамблеи (27.07.2018 г.). В нем отмечается, что в 2012 г. Генеральная Ассамблея ООН объявила 2014–2024 гг. *Десятилетием устойчивой энергетики для всех*, подчеркнув важность вопросов энергетики для устойчивого развития. Совсем недавно (20.12.2017 г.), Генеральная Ассамблея призвала к оперативному достижению стратегических целей глобального плана действий *Десятилетия* на период до 2030 г. Ввиду важности приводим некоторые выдержки из Доклада [3]:

- устранить разрыв в доступе к электроэнергии путем утверждения подробных планов действий на национальном, региональном и глобальном уровнях, с тем чтобы «никто не был забыт», при поддержке решительного руководства, целенаправленных стратегий и нормативных положений, многосторонних партнерств, действий по принципу «снизу вверх» и более значительных инвестиций как в сетевые, так и во внесетевые решения. Для удовлетворения разнящихся между собой потребностей стран и регионов необходимы будут трансграничные сети связи, сетевые решения в области возобновляемых источников энергии и децентрализованные варианты;

- ускорить темпы перехода к использованию возобновляемых источников энергии, особенно в секторах конечного потребления, таких как транспорт, строительство и промышленность, в целях преодоления последствий изменения климата и достижения существенных экономических, медицинских и экологических выгод;

- использовать возможности децентрализованных решений в области возобновляемых источников энергии, которые имеют ключевое значение для обеспечения всеобщего доступа к энергии и расширению прав и возможностей людей, компаний и общин;

- наращивать инвестиции в повышение энергоэффективности во всех секторах экономики, при поддержке хорошо продуманных и основанных на фактических данных стратегий, а также региональных, национальных и местных планов действий;

- удвоить объем финансирования мероприятий по достижению цели 7 в области устойчивого развития на глобальном уровне, от нынешнего ежегодного уровня порядка 500 млрд долл. США до 1–1,2 трлн долл. США в год на период до 2030 г.;

- активизировать наращивание потенциала и просвещение с использованием новых межсекторальных подходов в целях развития

человеческого и институционального потенциала и требуемых навыков в поддержку обеспечения всеобщего доступа к энергии и преобразования энергетического сектора;

- укреплять системы инновационной деятельности, в том числе исследования, разработки, внедрение и распространение в рамках проектирования и функционирования энергетических систем, особенно в секторах конечного потребления, таких как транспорт, промышленность и здания;

- декарбонизация мировых энергетических систем и выполнение задач цели 7 в области устойчивого развития, включая обеспечение всеобщего доступа к современным источникам энергии к 2030 г., являются взаимодополняющими задачами и должны осуществляться одновременно;

- поощрять устойчивое и низкоуглеродное развитие городов с надежными и доступными системами общественного транспорта, энергоэффективной антропогенной средой и значительной долей энергетических потребностей, удовлетворяемых за счет более чистых источников энергии и др.

В глобальном энергетическом секторе происходят серьезные преобразования: от растущей электрификации до расширения возобновляемых источников энергии, резких изменений в добыче и продажи нефти и глобализации рынков природного газа. Во всех странах выбор политики, принимаемый правительствами по развитию энергетики, будет определять форму энергетической системы будущего [2].

Энергетическое хозяйство сложно и многогранно, оно быстро развивается. В мировой энергетике создаются и внедряются принципиально новые типы энергетических установок, совершенствуется структура энергетического баланса, используются различные возобновляемые источники. Понимание этих вопросов требует от специалистов глубоких теоретических и специальных знаний во всех сферах энергетического хозяйства. Они должны оценить энергетическую ситуацию, выбрать оптимальный путь энергоснабжения и энергосбережения, последствия и воздействия выбранного пути на экологическую ситуацию местности, региона и государства в целом. Комплексный, системный подход к решению проблем топливно-энергетического комплекса, энерго- и ресурсосбережения и охраны окружающей среды позволит обеспечить государство энергоресурсами на длительную перспективу и ее энергетическую независимость и безопасность.

Специалисты должны искать новые экономичные и безопасные способы разведки, добычи, производства и передачи энергии, внедрять новые технологии, заниматься вопросами экологии.

Необходимо обратить внимание широкой общественности на важность по новому оценить сущность происходящих событий в сфере энергетики. Должна вестись широкая разъяснительная работа о том, что энергоресурсы имеют ограниченный запас, об их бережном и рациональном расходовании. Энергетическая эффективность и ее повышение, методы и пути повышения экономии электрической энергии и энергоресурсов – это жизненная необходимость.

Необходимо отметить, что развитие цивилизации сопровождалось ростом потребности в энергии. Сегодня в мире на одного землянина ежедневно производится 2 кВт энергии (в США – 10 кВт), предел роста энергопотребления оценивается в 20 кВт на человека [6]. Такой уровень энергопотребления биосфера может выдержать, но для этого необходимо примерно в 10 раз сократить загрязнение, которое сопровождает получение энергии сегодня.

В то же время технологическая картина динамично изменяется и в перспективе (2010–2050) гг. может привести к радикальным изменениям в мировой энергетике – к энергетической революции [7–9].

Ключевые технологические тренды в мировой энергетике будут состоять не только в развитии конкретных новых технологий, но и в принципиальном изменении организации технологического развития. Сейчас оно происходит в основном в форме разработки и последующего внедрения отдельных частных технологий, причем в ходе процесса внедрения возникают значительные экономические и технические трудности [2, 9].

В перспективе технологическое развитие будет осуществляться исходя не из предложения научно-технических разработок, а из спроса на комплексные технологические решения. Такой подход будет обеспечивать гарантированный спрос и востребованность научно-технических разработок.

Реализуются модульный принцип организации технологий и соответствие требованиям заказчика при оптимальных затратах. Мир стоит на пороге энергетической революции, содержанием которой будет переход от индустриальной к постиндустриальной энергетике [2, 8, 9].

*Энергетика индустриальной фазы* – это крупные централизованные источники энергии на ископаемом топливе с ориентацией на

валовой поток энергии [20].

*Энергетика постиндустриальной фазы* – это децентрализованные источники энергии с ориентацией на использование энергии ВИЭ, атомной энергии и управление потоком энергии. По сути, это переход от «силовой» энергетики к «умной». Основные направления энергетической революции: энергосбережение; «умная» энергетика; электроэнергетические системы нового поколения; децентрализация энергетики; возобновляемые источники энергии; альтернативные виды энергоснабжения транспорта; углеродные рынки [2, 7].

К настоящему времени каждое из указанных направлений – это крупная отрасль экономики, показывающая устойчивые и очень высокие темпы роста.

Переход к новой энергетической цивилизации в 2010–2050 гг. может происходить различными путями в зависимости от сценария развития мировой энергетики. Сценарии формируются на основе методологии, учитывающей энергетические, технологические, экономические, экологические, политические, социальные факторы развития.

Существуют более 50 видов сценариев развития энергетики мира [2, 7–9]. Сценарии развития мировой энергетики существенно различаются с точки зрения общих трендов развития энергетики – динамики энергоемкости мирового валового внутреннего продукта, первичного и конечного потребления энергии по видам, а также выбросов парниковых газов. Содержания некоторых сценариев развития мировой энергетики.

Как отмечается в [2, 7–9], география потребления энергии продолжает свое смещение в Азию, при этом темпы движения и направления существенно изменяются. Например, рынки нефти вступают в период возобновления неопределенности и нестабильности, включая возможный разрыв предложения в начале 2020-х гг. Спрос на природный газ растет, стирая разговоры о перенасыщении, когда Китай становится гигантским потребителем. Возобновляемая и атомная энергии, другие низкоуглеродные технологии и особенно политика в области эффективности по-прежнему требуют значительных усилий.

Анализ показывает рост потребления нефти в ближайшие десятилетия в связи с ростом нефтехимии, грузовых перевозок и авиационного спроса [2].

Возобновляемые источники энергии становятся предпочтительной технологией, составив почти две трети глобальных добавочных мощностей к 2040 г., благодаря снижению затрат и поддержке правительственной политики. Это трансформирует глобальную энергетиче-

скую структуру: к 2040 г. доля возобновляемых источников энергии в генерации вырастет до 40 % с 25 % сегодняшних, хотя уголь остается крупнейшим источником, а газ остается вторым по величине [2].

Рынки электроэнергии также претерпевают уникальные преобразования с ростом спроса со стороны цифровой экономики, электромобилей и других технологических изменений. Анализ показывает, что более высокая электрификация приведет к пику спроса на нефть к 2030 г. и уменьшит количество вредных местных загрязнителей воздуха [2]. Но это оказало бы незначительное влияние на выбросы углерода без более активных усилий по увеличению доли возобновляемых источников энергии и низкоуглеродистых источников энергии, включая атомных [10].

Наиболее целостное представление о трансформации энергетики дается в концепции «3D» (*Digitalization* – цифровизация, *Decentralization* – децентрализация, *Decarbonization* – декарбонизация) [2]. При этом она указывает на причину системных трансформаций в энергетике – decarbonization, принцип изменения архитектуры энергетических систем decentralization, а также на ключевой инструмент для эффективной трансформации – digitalization. Эти вопросы также рассмотрены далее по тексту книги.

По мнению академика УЗАН К. Р. Аллаева, эти направления энергетики должны быть дополнены еще одним направлением – *интеллектуализацией энергосистем*, как интегрирующее все названные три направления трансформации мировой энергетики.

Вместе эти тенденции прокладывают путь к системе, в которой традиционные границы между производителями и потребителями размыты, что увеличивает сложность системы управления. Предпочтения и ожидания клиентов смещаются в сторону меньшего количества выбросов углерода, большего активного взаимодействия и обмена в реальном времени, постоянного подключения, большей прозрачности, опыта и возможностей обучения благодаря услугам, большей надежности и безопасности [2].

Трансформация энергосистем, т. е. преобразования производства, передачи и распределения электроэнергии по вышеназванным направлениям в течение следующих 10 лет потребует более 2,4 трлн долл. [10].

В этом процессе весьма положительную роль может играть государственно-частное партнерство. Мировой опыт показывает [10] эффективность межсекторальных партнерских отношений, обеспечивающих благоприятную инфраструктуру и реорганизацию компаний



для разработки новых бизнес-моделей.

В заключение хотелось отметить следующее. Информация по ряду проблем энергетики, представленная здесь, разбросана в громадном количестве печатных изданий. Поэтому предлагаемый широкий обзор литературы по мировой энергетике появился в результате продолжавшегося многие годы сбора информации, идей, обобщений, относящихся к проблемам энергоресурсов, энергетики и охраны окружающей среды.

## **6.2. Направления динамичного изменения современных энергосистем**

В настоящее время встает все больше проблем, связанных с качественным и количественным обеспечением электроэнергией населения и отраслей мировой экономики. При этом необходимо принять эффективные решения, которые смогли бы вывести энергетику на совершенно новый уровень развития. В этой связи в целом в электроэнергетике мира имеют место следующие задачи [11]:

- обеспечение потребителей достаточным количеством высококачественной электроэнергии;
- минимизация затрат на производство и передачу энергии;
- оперативное реагирование на любые изменения в сети;
- использование в процессе производства энергии экологических ресурсов – возобновляемых источников и атомной энергии.

Мировая энергетика переживает период необратимой трансформации [12]. Энергетический переход («energytransition») звучит в энергетической повестке многих стран. Наблюдается масштабное использование экологически чистых источников энергии, развитие распределенной интеллектуальной энергетики, формирование децентрализованных рынков, переход к активным (просьюмерским, см. глосс.) моделям поведения.

Развитые страны стоят на пороге существенной трансформации своих электроэнергетических систем с переходом к следующему технологическому укладу в энергоснабжении [12, 13] – к интеллектуальной энергетической системе на основе современных инновационных технологий – Grid Edge Technologies (EGT) [12, 14]. В этой связи ключевые тренды технологических изменений, реализуемых в совокупности, существенно меняют в перспективе условия функционирования и развития энергетики мира. При этом возникает сложнейшая

задача определения тех направлений научно-технического развития и технологии, которые бы позволили трансформировать электроэнергетический комплекс в качественно новое состояние.

### **6.3. Понятия интеллектуализации, цифровизации, децентрализации и декарбонизации энергетики**

В мировой энергетике термин «энергетический переход» часто связывают с тремя «D» – процессами изменения отрасли: цифровизация (**digitization**), децентрализация (**decentralization**), декарбонизация (**decarbonization**), т. е. переход к цифровой энергетике, распределенная энергетика и снижение выбросов углекислого газа. Этот перечень, по мнению автора, как было отмечано выше, необходимо дополнить еще одним термином – **интеллектуализация энергетики (energy intellectualization)**, что отражало бы реальное состояние и перспективы развития энергосистем будущего – «умную», интеллектуальную энергосистему будущего [12, 15, 16].

Следовательно, преобразования мировой энергетической системы определяют **четыре мировых тренда**: интеллектуализация, цифровизация, децентрализация и декарбонизация и эти термины должны рассматриваться во взаимосвязи, так как изменения в одном существенно влияют на другие. Именно они окажут наибольшее влияние на энергетику будущего [60]. Здесь кратко рассмотрим их содержание, а далее по тексту раскроем их сущность.

**Интеллектуализация энергетики (Energy Intellectualization).** Классическая структура электрической системы в виде потребитель, генерация и сетевая инфраструктура находится в активной стадии изменения [46].

В Мировой энергетике начали активно применять искусственный интеллект и этот процесс охватывает все больше стран [12]. Интеллектуальные энергосистемы (ИЭС) – это будущее энергетики.

Представляя собой синтез электроэнергетической и информационной систем, ИЭС будет обладать уникальными свойствами:

- минимальными ограничениями для интеграции через общую электрическую сеть и общий электрический режим любых типов объектов производства, накопления и потребления электроэнергии, оптимального использования доступных источников энергии на основе централизованной и распределенной генерации;
- максимальной наблюдаемостью состояния сети и системы в целом, гибкостью (адаптивностью) функционирования и развития,

прогнозирования состояния в условиях высокой неопределенности режимов, изменения технологической и пространственной структуры производства и потребления электроэнергии под влиянием технологических и экономических (рыночных) факторов;

– клиенте ориентированностью, т. е. приоритетностью индивидуальных требований потребителей к эффективности, надежности и качеству энергоснабжения, что предполагает учет их интересов и стратегий поведения, активное участие в рыночной конкуренции, формирование эластичного рыночного спроса на электроэнергию, системные и сетевые услуги.

В отличие от прежних подходов к развитию электроэнергетики переход к интеллектуальной энергосистеме эффективнее начинать снизу, от потребителя и локальных систем энергоснабжения, создавая распределенные кластеры новой энергетики, новой рыночной среды в отрасли. И опыт крупнейших экономик мира показывает успешность таких начинаний.

Интенсивные продвижения к интеллектуальной электроэнергетике осуществляются в Европе, США, странах БРИКС, Японии, Корее.

Тема интеллектуальной энергетической системы, национальной технологической инициативы отражает те основные тенденции, которые существуют или намечаются в рамках развития современной электроэнергетики – уклон в сторону информационно-коммуникационных технологий, активных электротехнических устройств, прежде всего, активных регуляторов потоков электрической энергии, комплексных распределенных источников электрической энергии.

Требуется решать ряд важнейших задач для создания современных интеллектуальных электрических систем [17, 18]:

– необходимо изменить систему управления электроэнергетикой. Цель должна состоять в минимизации затрат на развитие и функционирование отрасли при обеспечении требований надежности, качества электроэнергии, экологии, энергетической безопасности государства;

– развить методы и информационно-программные средства для получения оптимальных решений развития и функционирования электроэнергетического комплекса страны;

– создать единую систему технологических и коммерческих правил и механизмов совместной работы собственников электроэнергетических объектов, обеспечивающих реализацию оптимальных решений при осуществлении соответствующего контроля со стороны государственных органов власти;

– создать отраслевую систему стратегического планирования с учетом долгосрочной перспективы обеспечения надежности и качества электрической энергии;

– создать систему планирования и проведения научных исследований и разработки инновационных технологий, в том числе технологий гибких высокоинтегрированных энергетических систем с использованием автоматизации, роботизации, информатизации, цифровизации отрасли.

Актуальна задача разработки системы целостного оптимального управления развитием и функционированием электроэнергетического комплекса в условиях наличия многих собственников электроэнергетических объектов с учетом различных временных и территориальных уровней управления и увеличения разнообразия источников генерации и компонентов энергосистем.

Из широкого круга новых участников рынка и поставщиков услуг формируются новые сети производителей и потребителей и, как следствие, возникают совершенно новые бизнес-модели торговли энергией [18, 19].

Примеров использования алгоритмов искусственного интеллекта в задачах прогнозирования обширно [12, 20, 21]. Например, зависимость выработки возобновляемых источников энергии от погодных условий существенно повысила необходимость точного прогнозирования.

В Германии немецкая компания Schleswig-Holstein Netz AG, эксплуатирующая электрические сети, использует методы искусственного интеллекта (самообучаемая сеть) для определения мест предполагаемых повреждений [19]. В качестве исходных данных используются сведения о сроке эксплуатации элементов электрических сетей и проведенных ремонтах, а также информация о нагрузках и погодных условиях.

В США используются беспилотные летательные аппараты для обследования состояния высоковольтных линий электропередачи и ветроэнергетических установок, управляемых на основе программного обеспечения с алгоритмами искусственного интеллекта для обработки результатов мониторинга [18, 19]. Нейронная сеть помогает лучше решить задачу распознавания образов, для чего в процессе обучения в программу загружаются тысячи изображений поврежденных ветроустановок (в том числе последствия от ударов молний, расслаивание, эрозия покрытия и пр.).

**Цифровизация энергетики (Energy digitalization).** Сегодня все чаще звучит такой термин, как «цифровизация», которая должна ох-

ватить все сферы экономики и промышленности [18]. Цифровизация энергетики – важнейшая составляющая будущей энергетики и соответственно экономики государства. Цифровая энергетика – энергетика, в которой сильно изменились отношения между производителями и потребителями электроэнергии, поскольку появились новые, доступные для каждого технологии.

«Цифровизацию» называют принципиальной частью архитектуры четвертой промышленной революции, так называемой «Индустрии 4.0» [22]. Частью цифровой экономики станет цифровая энергетика – цифровизация всех отраслей топливно-энергетического комплекса: электроэнергетики, которая должна стать интеллектуальной и распределенной, нефтегаза и угольной сферы [22]. Цифровая энергетика, как новый формат управления работой электроэнергетических систем, обеспечивает оптимизацию технологических и бизнес-процессов для достижения целевого состояния электроэнергетики.

Цифровизация электроэнергетики, в отличие от других технологических направлений, поддерживающих традиционное, экстенсивное развитие отрасли, позволяет заметно снизить темпы этого развития без ущерба для надежности и стоимости энергоснабжения, за счет более эффективного использования существующей энергетической инфраструктуры, которая при этом получает своего информационного двойника – «энергетический Интернет».

По мнению авторов [12], растущая неэффективность централизованного электроэнергетического сектора, приводящая к повышению тарифов и цен на электроэнергию для потребителей, – ключевой вызов для отрасли. Она способна с большой вероятностью стать сдерживающим фактором для развития энергетики и соответственно, экономики государства, если существенная часть которой основана на энергоемком производстве.

По оценкам российских специалистов [12], тепловая электростанция производит порядка 2 терабайт данных, из них структурируются и используются всего (1–2) %. Цифровизация должна сделать эти данные доступными для анализа, чтобы на их основании применять более качественные и оперативные управленческие решения. Только при этих условиях можно обеспечить горизонтальную и вертикальную интеграцию потоков информации и наконец запустить цифровизацию энергетику.

Таким образом, можно отметить, что необходим комплексный подход к производству и распределению электроэнергии, так как дос-

тичь реального эффекта от цифровизации можно только при рассмотрении в совокупности и генерирующего оборудования, и коммутационной аппаратуры, и трансформаторных подстанций, и распределительных сетей, и потребителя, который в выстроившейся цепочке играет существенную роль.

Первый этап цифровизации отрасли внедрение АСУ, мониторинга, диспетчеризации помог сократить персонал, повысить эффективность использования основных средств, но не избавил от главного: от субъективности принимаемых решений.

Благодаря технологиям интернета вещей (IoT) оперативные данные можно аккумулировать на единой платформе и на их основе контролировать множество процессов и моментально ими управлять [23].

IoT и предиктивная аналитика позволяют прогнозировать выход оборудования из строя и проводить профилактическое техобслуживание и ремонты, тем самым повышая надежность энергоснабжения и снижая эксплуатационные издержки. При этом находятся решения в области моделирования, создания цифровых методов и внедрение в производство умных решений, помогающих сократить простои оборудования и предотвратить поломки, снизить эксплуатационные расходы и повысить энергоэффективность. Интернет вещей используется при создании цифровых подстанций и гибких энергосистем, а также для управления энергопотреблением по пользовательским сценариям [23].

Развитие в этом направлении идет весьма интенсивно. В мировой энергетике активно внедряется технологии промышленного Интернета вещей (Industrial Internet of Things – IIoT) – многоуровневая система, включающая датчики и контроллеры, установленные на узлах и агрегатах промышленного объекта, средства передачи собираемых данных и их визуализации, мощные аналитические инструменты интерпретации получаемой информации и многие другие компоненты [22].

Как отмечается в [12], мир станет свидетелем того, как в будущем цифровые и физические миры сойдутся воедино, это и даст толчок для 4-й индустриальной революции, где на переднем плане окажутся применение искусственного интеллекта, блокчейна (см. глосс), робототехники и технологий дополненной реальности на энергетическую систему. Энергетический сектор от таких перемен останется в выигрыше, так как передовые технологии помогут сократить производственные расходы, повысить энергоэффективность и избавить от сетевых сбоев. В целом цифровизация будет оказывать глубокое влияние на глобальную энергетическую систему и сейчас, и в будущем.

Цифровизация существующих и будущих структур энергоснабжения, включая энергетические рынки, позволяет создать комплексные имитационные модели их режимов, процессов и развития и, следовательно, удастся найти правильные технико-экономические решения для системы энергообеспечения [24].

**Распределенная энергетика (Energy decentralization).** Сегодняшний путь развития электроэнергетики – это путь в сторону гибкой, высокоинтегрированной энергетической системы, в которой имеется единое энергетическое пространство, энергоснабжающая компания общего пользования и, в конечном итоге, энергетические просьюмеры [18]. На этом пути роль так называемой распределенной генерации будет существенной. Очевидно, что будущее электроэнергетики – это гармоничный баланс «большой» централизованной и «маленькой» распределенной энергетики. Именно постепенное приближение генерации к потребителю и приведет к появлению энергетических просьюмеров.

Размер мирового рынка технологий распределенной генерации в 2015 г., по оценкам компании BCC Research, составил 65,8 млрд долл. Прогнозируется, что с 2016 до 2021 г. он будет расти на 10 % ежегодно [12].

Мировой энергетике нужна экологичная электроэнергия, при генерации которой максимально используются возобновляемые и атомные источники энергии [17]. Очевидно, что отказ от ископаемого топлива и централизованных систем с небольшим количеством электростанций и переход к децентрализованным системам с большим числом возобновляемых источников энергии, таких как ветровые турбины и солнечные панели, не произойдет в одночасье. Столь кардинальные изменения требуют решения серьезных технических задач. Процессы производства и потребления электроэнергии разделены во времени и пространстве, что неизбежно приводит к усложнению энергосистем. И чем больше децентрализованных устройств интегрируется в энергосистему, тем больше вызовов возникает [17]. В мировой энергетике – период безудержной глобализации закончился, и началась эпоха децентрализации и оптимизации расходов.

Современные электрические сети низкого напряжения, куда будут подключены возобновляемые источники, требуют соответствующей модернизации: сети, которые первоначально были предназначены только для распределения, необходимо дооснастить датчиками, измерительными приборами и другими элементами, чтобы поднять их до уровня «умных» – сетей. Только в этом случае появится воз-

возможность управлять сетью на микроуровне.

Одна из проблем, которую нужно решать энергетикам – подключение к сетям переменных ВИЭ. Обычно электроэнергия поступает из общей электрической сети, а здесь будет еще и обратный процесс – выдача электроэнергии в сеть. Это подразумевает определенные технические мероприятия, внедрение системы учета.

В [24] описывается разработка системы-посредника, так называемый Flexibility Operator (FlexOP), для интеллектуальных сетей, задачей которой станет оптимальное согласование различных требований рынка, клиентов и сети.

Виртуальный оператор следит за состоянием сети, составляет прогнозы и при появлении признаков возникновения критических ситуаций рассчитывает возможные контрмеры. Его задачей является расширение возможностей маневрирования в те временные периоды, когда согласно прогнозу создается угроза нарушения режима [24]. С этой целью FlexOP приглашает определенную группу потребителей и производителей принять участие в аукционе. В зависимости от ситуации к некоторым потребителям может быть прекращена подача электроэнергии, увеличено энергопотребление или сдвинуто на более поздний срок включение теплового насоса и т. д.

Для энергоснабжения важно избегать пиковых нагрузок. Это позволяет отодвигать тот момент, когда сеть достигнет предела мощности и потребует расширения. Система FlexOP помогает оттянуть такое расширение на несколько лет за счет создания посредством аукционов оптимального баланса между производством и потреблением.

Альтернативная энергетика перестала быть альтернативной и превращается в такую же традиционную и при этом высокоэффективную энергетику.

В мировой электроэнергетике сложились несколько факторов, способствующих развитию распределенной генерации [18]:

- эффективные технологии распределенной генерации;
- значительный рост тарифов на электрическую и тепловую энергию в системах централизованного электро- и теплоснабжения;
- значительная плата за технологическое присоединение к централизованным системам электроснабжения;
- стимулирование развития отдельных видов генерации, в том числе на базе ВИЭ;
- повсеместное использование топлива, сопровождающего другие производства (попутный газ, отходы и др.);

Важно освоить технологии устойчивого и надежного функционирования изолированных энергосистем, особенно тех, в которых



имеется комплекс разнообразных источников электрической энергии, как традиционных углеводородных (ДГУ, ГПУ, ГТУ и т. п.), так и нетрадиционных и, в первую очередь, источников с переменной установленной мощностью – фотоэлектрические станции, ветроэлектрические станции и т. п.

**Декарбонизация энергетики (Energy Decarbonation).** Углеводороды составляют основу мирового энергобаланса и они же являются основным источником выбросов CO<sub>2</sub> и других газов в атмосферу. Декарбонизация – это процесс сокращения выбросов CO<sub>2</sub> и других газов, приводящий к развитию парникового эффекта. **Декарбонизация энергетики** – это постепенный отказ от традиционных источников энергии (ископаемых углеводородов – нефти, каменного угля, природного газа, торфа и др.) и все более активный переход на возобновляемые и атомные источники [25, 26].

В табл. 6.1. приведена мировая потребность в первичной энергии по видам топлива [23].

Таблица 6.1

**Мировая потребность в первичной энергии по видам топлива**

Энерго-носитель	Годы							
	2015		2020		2030		2040	
	Млрд т н. э.	%	Млрд т н. э.	%	Млрд т н. э.	%	Млрд т н. э.	%
Нефть	4,19	3,5	4,53	3,4	4,80	2,9,5	4,92	2,7,8
Уголь	3,73	2,8,1	3,84	2,6,7	3,98	2,4,5	3,93	2,2,2
Газ	2,88	2,1,7	3,21	2,2,3	3,84	2,3,6	4,43	2,5,0
АЭС	0,65	4,9	0,75	5,2	0,94	5,8	1,09	6,2
ГЭС	0,33	2,5	0,36	2,5	0,42	2,6	0,48	2,7
Биомасса	1,31	9,8	1,41	9,8	1,58	9,7	1,72	9,7
Другие ВИЭ	0,19	1,4	0,32	2,2	0,69	4,3	1,12	6,3
<i>того</i>	1,3,28	1,00	1,4,42	1,00	1,6,25	1,00	1,7,69	1,00

Основная цель декарбонизации – ускорить переход к низкоугле-

родным энергетическим системам, которые позволяют ограничить повышение глобальной температуры значительно ниже  $2^{\circ}\text{C}$  и максимально близко к  $1,5^{\circ}\text{C}$  [23].

Чтобы достичь даже цели в  $2^{\circ}\text{C}$  и иметь какой-либо шанс достичь желаемого предела в  $1,5^{\circ}\text{C}$ , энергетическим и промышленным

системам важно достичь чистых нулевых выбросов CO<sub>2</sub> внутри себя. Это достижимо к 2050 г. в развитых странах и к 2060 г. в – развивающихся странах [27].

Достижение полного обезуглероживания экономики возможно, если необходимо сократить и в конечном итоге устранить выбросы в секторах тяжелой промышленности (в частности, цемент, сталь и химикаты) и транспорта (тяжелые автомобильные перевозки, морские перевозки и авиация).

На эти секторы в настоящее время приходится 10 Гт (30 %) общих глобальных выбросов CO<sub>2</sub>, но, исходя из текущих тенденций, их выбросы могут составить 16 Гт к 2050 г., и растущая доля оставшихся выбросов – по мере обезуглероживания остальной экономики [28].

На рис. 6.1 представлена динамика выбросов CO<sub>2</sub> по регионам и отдельно по странам СНГ по данным Ежегодника Enerdata.

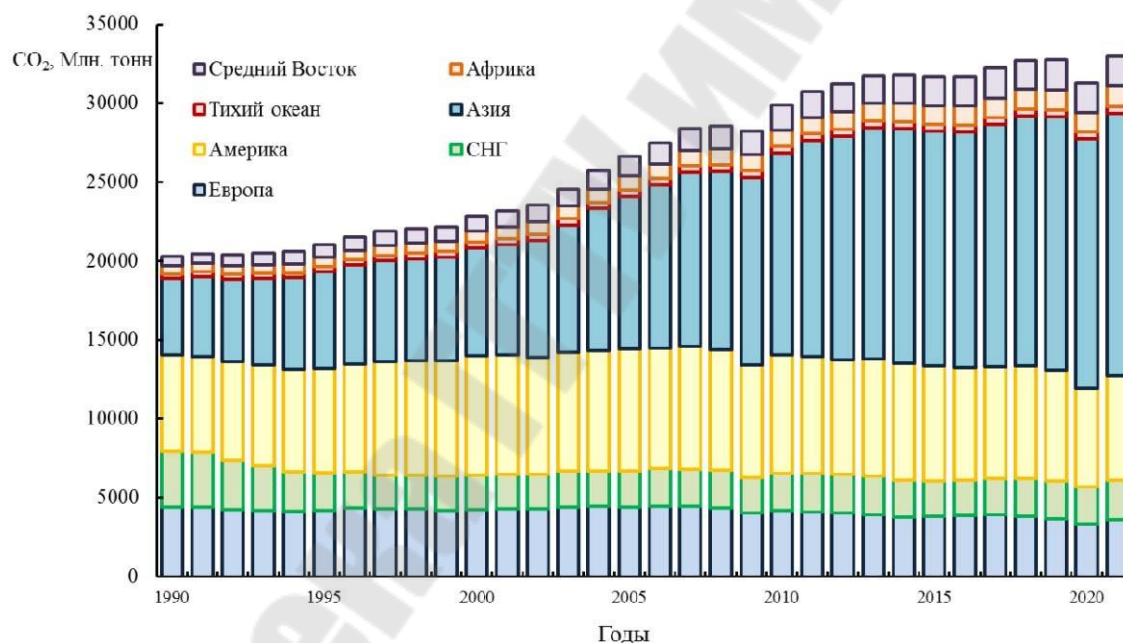


Рис. 6.1. Динамика выбросов CO<sub>2</sub> по данным Ежегодника Enerdata

На рис. 6.2. приведены этапы обсуждения и принятия международных Соглашений в мире, связанных с глобальными выбросами CO<sub>2</sub> в результате сжигания углеводородов.

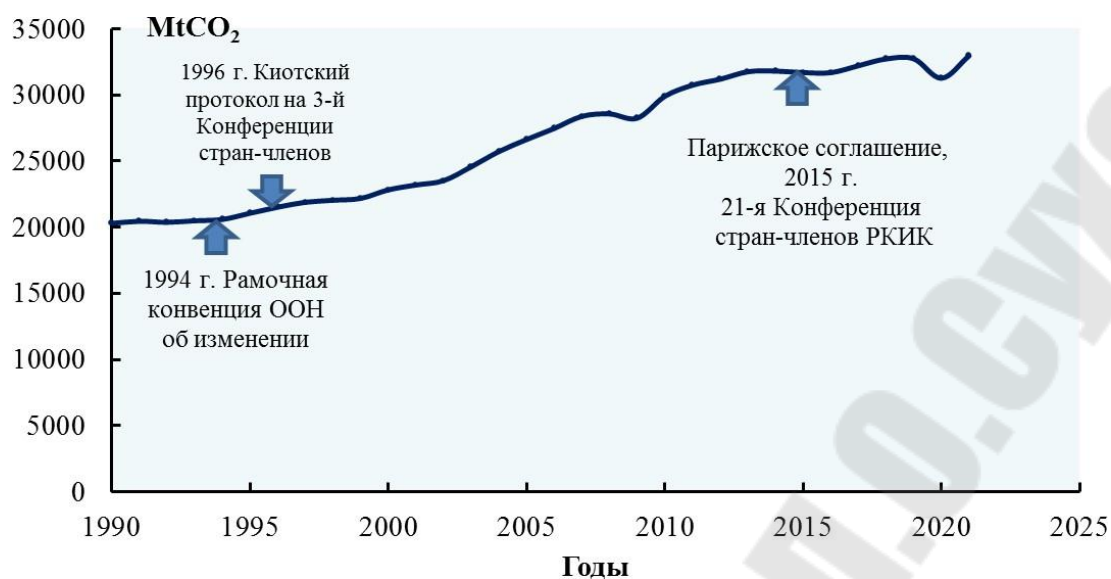


Рис. 6.2. Глобальные выбросы CO<sub>2</sub> в результате сжигания углеводородов [25]

Например, программы Евросоюза по противодействию негативным последствиям климатических изменений и необходимая в связи с этим модернизация оборудования по генерации электроэнергии и низкоуглеродистой экономики за период до 2050 г. требуют колоссальных инвестиций. По оценкам Европарламента, объем инвестиций в обеспечение составит от 2150 до 3200 млрд евро [29].

В мировой энергетике ставится задача достичь полной декарбонизации к (2060–2100 гг.) [17]. Для этого необходимо отказаться от ископаемого топлива и использовать электричество в качестве универсального энергоносителя. Ясно, что это серьезный вызов для экономик всех стран, требующий, в первую очередь, кардинальных изменений энергетических систем и их инвестирование.

#### 6.4. Сценарии развития энергетики мира, разработанные Международным энергетическим агентством

В [27] отмечается, что Международное энергетическое агентство (МЭА) с 1993 г. предоставляет среднесрочные и долгосрочные энергетические прогнозы с использованием Мировой энергетической модели (World Energy Model – WEM). Модель представляет собой крупномасштабную имитационную модель, предназначенную для воспроизведения того, как функционируют энергетические рынки, и является основным инструментом, используемым для генерации под-

робных отраслевых и межрегиональных прогнозов для ежегодно подготавливаемых отчетов «Перспективы Мировой Энергетики» (World Energy Outlook – WEO). Модель состоит из трех основных модулей [27]:

- конечное потребление энергии (охватывающее промышленность, транспорт, жилые помещения, сельское хозяйство, сферы услуг и неэнергетическое использование);
- преобразование энергии, включая производство электроэнергии и тепла, переработка и другие преобразования;
- энергоснабжение.

WEM – это модель с большим объемом данных, охватывающая всю глобальную энергетическую систему, основывается на системном подходе к построению всех аналитических документов МЭА, в том числе сценариев.

Сценарии WEM позволяют оценить влияние конкретных мер на спрос на энергию, производство, торговлю, инвестиционные потребности, затраты на снабжение и выбросы, детализируя параметры, касающихся возобновляемых источников энергии, энергоэффективности и изменения климата и др.

Впервые WEO-2019 публикует ключевые результаты с временным горизонтом до 2050 г. (в предыдущих версиях рассматривался период до 2040 г.). Это расширяет возможности для отражения в моделировании заявлений, сделанных несколькими странами для достижения углеродной нейтральности к 2050 г. [27].

Необходимо отметить, что в мире на сегодняшний день существуют более 50 сценариев и моделей развития мировой энергетики [30–35], разработанных различными международными специализированными энергетическими организациями и позволяющих осуществить прогнозирование развития энергетической системы на мировом и национальном уровнях. Наиболее совершенные сценарии и модели развития энергетики мира – это WEM, MARKAL, PRIMES, SCANNER, POLES, NEMS и др. [31, 41], отличающиеся рассмотренными периодами, видами первичной энергии, стимулами технологического развития.

В данном случае в World Energy Outlook 2019 (WEO–2019) смоделированы и представлены подробные прогнозы для трех сценариев [27]:

- сценарий текущей политики (Current Policies Scenario – CPS);
- сценарий государственной политики (Stated Policies Scenario – SPS);
- сценарий устойчивого развития (Sustainable Development Scenario – SDS).

В табл. 6.2 приведены определения и цели сценариев МЭА по развитию энергетики мира [2].

Таблица 6.2

## Определения и цели сценариев развития энергетики мира МЭА-2018

	Сценарий текущей политики (CPS)	Сценарий государственной политики (SPS)	Сценарий устойчивого развития (SDS)	Сценарий будущее – электричество (FiES)
Определения	Политика правительства, которая была принята или принята к середине 2019 г., остается неизменной	Существующая политика сохраняется и недавно объявленные обязательства и планы, в том числе те, которые еще не были официально приняты, реализуются с осторожностью	Комплексный сценарий, определяющий путь, направленный на: обеспечение универсального доступа к надежным, устойчивым и современным энергетическим услугам к 2030 г.; существенно снизить загрязнение воздуха; принятие эффективных мер по борьбе с изменением климата	Электрические технологии будут широко распространены, как только они станут конкурентоспособными по стоимости
Цели	Обеспечить базовую линию, которая показывает, как рынки энер-	Обеспечить ориентир для оценки потенциальных достижений (и ог-	Продемонстрировать правдоподобный путь для одновременного достижения всеобщего доступа	Изучить, что произойдет, если конкретные меры и сокращение затрат на технологии долж-

будут развиваться, если основные тенденции в спросе на энергию и поставка не изменилась	ограничений) недавних изменений в энергетической и климатической политике	к энергии, проложить путь к достижению целей Парижского соглашения об изменении климата и значительно уменьшить загрязнение воздуха	ны были привести к более быстрому темпу роста спроса на электроэнергию
---	---	---	--

Сценарии различаются в отношении того, что предполагается в отношении будущей государственной политики, связанной с энергетическим сектором. Кратко рассмотрим данные сценарии.

В табл. 6.3 приведены данные мирового спроса на энергию в зависимости от сценариев развития энергетики мира [36, 37].

Таблица 6.3

## Спрос на энергию в зависимости от сценариев развития энергетики мира

Годы	2017		2040					
Сценарии			Текущий политики (CPS)		Государств енной политики (SPS)		Устой чивого развития (SDS)	
			Ед. измер					
Энергоносит ель	Млн. т н э.	%	Млн. т н э.	%	Млн. т н э.	%	Млн. т н э.	%
Уголь	750	6,8	769	4,6	3809	21,5	597	1,6
Нефть	435	1,7	570	8,7	4894	27,6	156	3,0
Природный газ	107	2,2	804	4,8	4436	25,0	433	5,0
АЭС	88	,0	51	,0	971	5,5	293	,5
ГЭС	53	,5	14	,7	531	3,0	01	,4
Биоэнергия	385	,9	771	,2	1851	10,4	504	1,0
Другие ВИЭ	54	,9	48	,0	1223	7,0	132	5,5
Итого	3972	00	9329	00	17715	100	3716	00
Выбросы CO <sub>2</sub>	2,2		3,7		36,		7,6	
Доля ископаемого топлива	1%		9%		74%		8%	

Примечание. CPS – Current Policy Scenario; SPS – Stated Policies Scenario; SDS – Sustainable Development Scenario. – Источник: IFA WEO, 2018.

## Сценарии текущей политики

**В Сценарии текущей политики (Current Policies Scenario – CPS)** действуют только те меры и решения, которые были приняты до середины 2019 года и другие меры по развитию энергетики не реализуются [36, 38].

В данном сценарии потребление угля по сравнению с 2017 г. увеличивается на 28 %, нефти на 26 %, природного газа на 55 %, энер-



гия АЭС на 38 %, энергия ГЭС на 46 %. Возобновляемые источники увеличиваются на 66 %. Выбросы  $\text{CO}_2$  возрастают с 32,2 Гт в 2017 г. до 43,7 Гт в 2040 г. Доля ископаемого топлива в энергобалансе составляет 79 % [36].

В сценарии текущей политики технологические изменения предполагаются довольно медленными (самый медленный из всех да-

лее рассмотренных сценариев), так как новые меры по развитию энергетики мира не применяются.

Но из-за более высоких цен на энергоносители также в этом сценарии происходят технологические изменения, особенно в отношении энергоэффективности [36].

Тем не менее данный сценарий воплощает технологические улучшения. Сценарий предназначен для того, чтобы предложить базовую картину развития глобальных энергетических рынков. Поэтому, как результат, это приведет к увеличению нагрузки практически на все аспекты энергетической безопасности и значительному дополнительному увеличению выбросов CO<sub>2</sub>, связанных с энергетикой.

На рис. 6.3 приведена динамика изменения мировых выбросов CO<sub>2</sub> от энергетического сектора. Из рис. 6.3 видно, непрерывный рост выбросов CO<sub>2</sub>, что и характеризует данный сценарий.

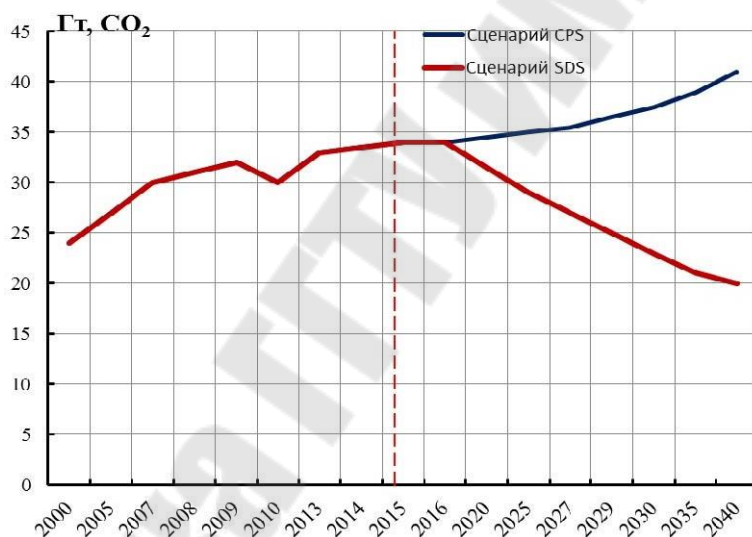


Рис. 6.3. Мировые выбросы CO<sub>2</sub> от энергетического сектора [84]

Таким образом, данный сценарий служит эталоном, по которому можно оценить влияние изменений в вопросах мировой энергетики.

### Сценарий государственной политики

**Сценарий государственной политики (Stated Policies Scenario – SPS)** – центральный сценарий, который ранее носил название «**Сценарий новой политики (New Policies Scenario – NPS)**» [63] – учитывает меры по реализации, влияющие на энергетические рынки, которые были приняты с середины 2019 г., вместе с соответствующими

предложениями политики, даже если конкретные меры необходимые для их реализации еще не полностью разработаны.

В данном сценарии потребление угля по сравнению с 2017 г. увеличивается на 1,6 %, нефти – на 10 %, природного газа – на 43 %, энергия АЭС – на 41 %, энергия ГЭС – на 50 %. Возобновляемые источники увеличиваются на 87 %. Выбросы CO<sub>2</sub> возрастают с 32,2 Гт в 2017 г. до 36,6,7 Гт в 2040 г. Доля ископаемого топлива в энергобалансе составляет 74 % [36].

К 2040 г. в данном сценарии глобальный спрос на энергию возрастает более чем на 25 %, населения Земли увеличится на 1,7 миллиард человек, в основном в городских районах развивающихся стран. Увеличение спроса на энергию было бы примерно вдвое больше, если бы не постоянное повышение энергоэффективности, мощного инструмента для решения проблем энергетической безопасности и устойчивости [36].

Весь рост происходит из развивающихся стран во главе с Индией. В 2000 г., на Европу и Северную Америку приходилось более 40 % мирового спроса на энергию, а в развивающихся странах Азии – около 20 %. К 2040 г. эта ситуация полностью изменится.

Низкоуглеродистые технологии, основанные на возобновляемых, атомных источниках энергии и природном газе, обеспечивают более 80 % роста мирового спроса.

Таким образом, сценарий государственной политики (SPS) занимает центральное место, поскольку он показывает направление, куда движется энергетический мир и почему.

## **Сценарий устойчивого развития**

**Сценарий устойчивого развития (Sustainable Development Scenario – SDS)**, впервые представленный на WEO-2017, обеспечивает путь энергетического сектора, который объединяет основы секторальной энергетической политики с тремя тесно связанными, но различными политическими целями, которые являются важнейшими опорами целей ООН в области устойчивого развития (ЦУР) [27].

Во-первых, в нем описан путь к достижению всеобщего доступа к современным энергетическим услугам к 2030 г. (ЦУР 7), включая не только доступ к электричеству, но и чистое приготовление пищи.

Во-вторых, он рисует картину, которая соответствует направлению, необходимому для достижения целей Парижского соглашения

(ЦУР 3.9), включая пик выбросов, достигаемый как можно скорее, за которым следует существенное снижение.

В-третьих, он предполагает значительное сокращение других связанных с энергетикой загрязнителей, что согласуется с резким улучшением качества воздуха в мире и, как следствие, сокращением преждевременных смертей от загрязнения воздуха в домах (ЦУР 13). Цель состоит в том, чтобы разработать комплексную стратегию с наименьшими затратами для их достижения наряду с энергетической безопасностью мира [27].

В данном сценарии потребление угля по сравнению с 2017 г. уменьшается до 60 %, нефти – до 71 %, природный газ растет на 10 %, энергия АЭС – на 88 %, энергия ГЭС – на 50 %. Возобновляемые источники увеличиваются на 220 %. Выбросы CO<sub>2</sub> снижаются с 32,2 Гт в 2017 г. до 17,6 Гт в 2040 г. Доля ископаемого топлива в энергобалансе составляет 58 % [36].

На рис. 6.4 приведена динамика потребности в первичной энергии по сценарию устойчивого развития (SDS). Как видно из приведенных данных, после 2017 г. потребность в нефти и угле непрерывно снижается, а природного газ растет.

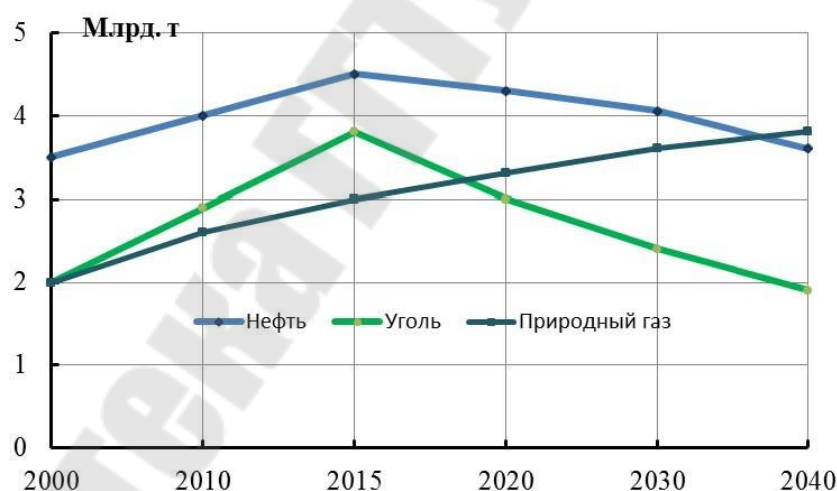


Рис. 6.4. Потребность в первичной энергии по сценарию устойчивого развития (SDS) [81, 82]:

1 – нефть; 2 – природный газ; 3 – уголь

Акцент в данном сценарии (SDS) делается на технологиях с коротким сроком реализации проектов, в частности, в секторе энергетики, таких как возобновляемые источники энергии, в то время как более долгосрочный характер изменения климата допускает другие технологии. Траектория выбросов в Сценарии устойчивого развития

(рис. 6.3) полностью соответствует достижению долгосрочных целей Парижского соглашения [2, 36, 39, 40]. Чтобы достичь результатов этого сценария, энергетический сектор продвигается дальше и быстрее с разворачиванием генерации с низким уровнем выбросов. Технологии возобновляемых и атомных источников энергии – основной путь к обеспечению универсального доступа к энергии в 2040 г.

Электрификация конечных потребителей сильно растет, но также растет и прямое использование возобновляемых источников энергии – биоэнергии, солнечного и геотермального тепла – для обеспечения тепла и мобильности [7]. Доля возобновляемых источников энергии в структуре энергопотребления возрастает с одной четверти сегодня до двух третей в 2040 г.; при обеспечении теплом она увеличивается с 10 % сегодня до 25 %, а при транспортировке – с 3,5 % сегодня до 19 %.

На рис. 6.5 приведены доли электроэнергии в общем конечном потреблении энергии в зависимости от сценария развития энергетики мира.

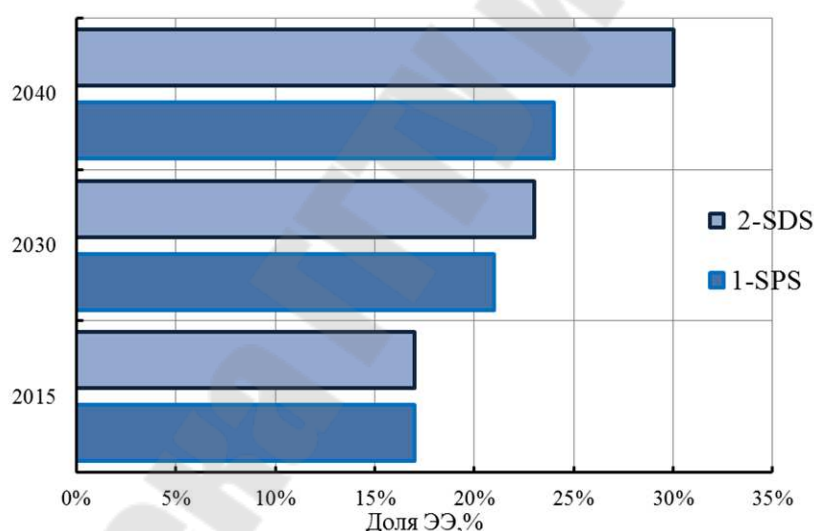


Рис. 6.5. Доля электроэнергии в общем конечном потреблении энергии в зависимости от сценариев развития энергетики мира:  
1 – SPS; 2 – SDS

Также МЭА рассматривает другие сценарии. Одним из важных является сценарий, посвященный развитию поставок электроэнергии.

### «Будущее – это электрический сценарий»

Сценарий «Будущее – это электрический сценарий» (**Future is Electric Scenario – FiES**), разработан в WEO-2018 специально для

особого внимания к развитию электрификации в мире. Сценарий исследует ключевые области неопределенности для будущего спроса на электроэнергию. Один из основных типов неопределенности связан с увеличением спроса на электроэнергию для новых или расширенных потребностей в энергии [7].

На электроэнергию сегодня приходится более 19 % от общего конечного потребления энергии, и эта доля будет расти, поскольку рост спроса на электроэнергию опережает все остальные виды топлива: потребление электроэнергии растет вдвое быстрее, чем общий спрос на энергию [7]. По этой причине в данном сценарии (FiES) изучается, какие меры надо принять для полной электрификации глобальных энергосистем.

Основные результаты электрификация конечных потребителей – это многообещающий путь к обезуглероживанию энергии.

К 2040 г. в сценарий государственной политики (SPS) доля электрификации достигнет – 24 %, что далеко от полной электрификации.

Необходимо иметь в виду, что не все конечные пользователи могут быть легко электрифицированы, например, потребность в тепле при высоких температурах в промышленности, дальнемагистральной авиации и судоходстве, где электрификацию труднее достичь из-за экономического или технического барьера [2, 36].

На развивающиеся страны будет приходиться наибольшая доля нового спроса, обусловленная быстрым экономическим ростом и ростом населения, потребностью в большем количестве товаров и услуг и усиливающимся развитием в направлении электрификации. Например, к 2040 г. на электрические машины, используемые только в китайской промышленности, будет приходиться почти 20 % роста мирового спроса на электроэнергию. Аналогичное увеличение ожидается из-за растущих потребностей в охлаждении, когда число домашних кондиционеров в развивающихся странах возрастет до 2,5 млрд ед., по сравнению с 600 млн сегодня. Ускорение освоения электромобилей и электрических водонагревателей может привести к еще большему росту спроса на электроэнергию в развивающихся странах [27].

Доведение электромобилей до 100 % продаж новых автомобилей в странах с развитой экономикой к 2040 г. увеличит рост спроса на электроэнергию в среднем до 1,1 % в год, так как электромобили более чем в два раза эффективнее, чем обычные автомобили.

Производство электроэнергии из возобновляемых источников

энергии возрастают почти в три раза к 2040 г. и составляет более 40 % от общего производства. Благодаря непрерывным снижениям затрат на солнечную энергетику производство электроэнергии на основе PV превысит производство электроэнергии на основе ветроустановок к 2025 г., а угля в середине 2030-х гг. и станет вторым по величине установленной мощностью в мире после газа. Газовые мощности обгонят угольные мощности задолго до 2030 г. [36, 38].

Уголь остается крупнейшим источником выработки электроэнергии, хотя его доля со временем существенно падает, а газ почти закрывает этот разрыв. Гидроэнергетика остается крупнейшим источником низкоуглеродного электричества, за которым следуют энергия ветра и солнечная энергия.

Выработка электроэнергии на АЭС увеличивается умеренно, со значительным географическим сдвигом. Развитие ядерной энергетики возглавляют Китай, Индия, Россия и развивающиеся страны.

В странах с развитой экономикой новые источники роста спроса на электроэнергию, такие как цифровизация и электрификация тепла и мобильности, опережают экономию за счет повышения энергоэффективности. В отсутствие повышения энергоэффективности спрос на электроэнергию в странах с развитой экономикой вырос бы на 1,6 % в год с 2010 г. вместо нынешних 0,3 %.

Меры по повышению энергоэффективности, принятые с 2000 г., позволили сэкономить почти 1800 ТВт · ч в 2017 г., что эквивалентно примерно 20 % от общего текущего потребления электроэнергии [7, 36].

Создание гибких энергосистем для обеспечения перехода на более электрифицированные, низкоуглеродистые и оцифрованные электрические системы будущего будет иметь решающее значение для обеспечения надежности.

## Сценарий 450

**Сценарий 450 (450 Scenario)** был представлен в WEO-2009 [2]. Тогда дискуссии по климатической политике были сосредоточены на целевом уровне стабилизации концентрации CO<sub>2</sub>. Сценарий получил название «**Сценарий 450**», означающий, что на миллион частей воздуха приходится 450 частей CO<sub>2</sub>, (450 ppm). Такая концентрация CO<sub>2</sub> в то время соответствовала 50%-й вероятности поддержания среднего глобального повышения температуры ниже 2 °C (по сравнению с доиндустриальным уровнем). Парижское Соглашение рекомендует ориентироваться на 1,5 °C.

Энергоэффективность и возобновляемая энергия значительно сокращают загрязнение воздуха и выбросы парниковых газов. Электромобили, с одной стороны уменьшают загрязнение воздуха, но в то же время увеличивают общие выбросы CO<sub>2</sub>, если не предпринимать параллельных усилий по декарбонизации энергетического сектора [36].

Поэтому сценарий предполагает принятие соответствующих мер и целевых показателей выбросов в масштабах всей экономики на 2035 г. и последующий период для стран ОЭСР и других крупных экономик.

В табл. 6.4 приведены данные мировой потребности в первичной энергии по сценариям и выбросы CO<sub>2</sub>, связанные с энергетикой.

Таблица 6.4

**Мировая потребность в первичной энергии по сценариям и выбросы CO<sub>2</sub>, связанные с энергетикой [2]**

Год ы	1990		2017		2040					
Сце нарии					CPS		SPS		SDS	
Единица измерения	млрд т н. э.	млрд т CO <sub>2</sub>	млрд т н. э.	млрд т CO <sub>2</sub>	млрд т н. э.	млрд т CO <sub>2</sub>	млрд т н. э.	млрд т CO <sub>2</sub>	млрд т н. э.	млр т CO <sub>2</sub>
Пер вичная энергия и выбросы CO <sub>2</sub>	,7	0,7	3,7	2,6	8,8	2,5	7,5	6,4	3,8	7,6

В этом сценарии низкоуглеродные виды генерации доминируют. В частности, доля гидроэнергетики составит 20 %, атомной энергетики – 18 %, ветроэнергетики – 18 % и солнечной энергетики – 9 %. Производство электроэнергии из традиционных видов топлива должно резко упасть: газа – до 16 %, угля – до 9 %, нефти – до 1 %. Оставшиеся 9 % должны производиться из других низкоуглеродных источников [41].

К 2040 г. необходимость в атомной энергетике сохранится, так как ожидается совсем другой уровень замыкания топливного цикла за счет более широкого развития технологии реакторов на быстрых нейтронах [41].

Атомная энергетика имеет традиционно высокий коэффициент готовности и коэффициент использования мощностей – первый превышает 90 %, второй – 80 %. С ветряными электростанциями мы имеем часто коэффициент использования установленных мощностей на уровне 15–25 % [41]. Очевидно, что для выработки одинакового объ-



ема электроэнергии ветряной и солнечной генерации потребуется не менее (3–4) раза больше мощностей, чем атомной. На киловатт уста-

новленной мощности эффективность атомной генерации выше и это одно из ее конкурентных преимуществ.

Необходимо отметить, что энергетический сектор является основным источником глобальных выбросов парниковых газов (ПГ). Сегодня выбросы парниковых газов, связанные с энергией (включая метан и закись азота, а также  $\text{CO}_2$ ), составляют около 39 Гт в эквиваленте  $\text{CO}_2$ . Самая большая категория на сегодняшний день – это угольная энергетика, на которую приходится 27 % выбросов. Здания составляют почти 9 %, за которыми следуют около 8 % для автомобилей, работающих на газе и бензине. Выбросы от производства цемента и нефтегазовых операций составляют 7 % каждый, при этом грузовые автомобили составляют 6 %, а производство стали – около 5 % от общего объема [2].

Сценарий устойчивого развития (SDS) полностью согласуется с целью Парижского соглашения «сдерживать повышение средней глобальной температуры намного ниже  $2^\circ\text{C}$  выше доиндустриального уровня и предпринимать усилия по ограничению повышения температуры до  $1,5^\circ\text{C}$ ». Сценарий находится в пределах охвата сценариев, предусматривающих повышение температуры ниже  $1,5^\circ\text{C}$ , что оценивается в последнем специальном докладе МГЭИК о  $1,5^\circ\text{C}$  [7].

Эти условия выполняются в Сценарии устойчивого развития (SDS), в котором глобальные выбросы  $\text{CO}_2$  достигают пика примерно в 2020 г., а затем снижаются к 2040 г. и находятся на пути к чистым нулевым выбросам во второй половине столетия.

На рис. 6.6 приведены мировые выбросы  $\text{CO}_2$  по сценариям, связанным с энергетикой.

В сценарий устойчивого развития (SDS) выбросы ПГ, связанные с энергией, падают примерно до (18–21) Гт  $\text{CO}_2$ .

Чтобы вывести мир на траекторию сценария SDS, необходимы значительные дальнейшие политические действия. В 2015 г. МЭА были определены 5 возможностей, которые позволяют достичь раннего пика выбросов парниковых газов, связанных с энергетикой, без каких-либо чистых затрат для экономики [36]:

- повышение энергоэффективности конечных потребителей;
- увеличение инвестиций в возобновляемые источники энергии;
- поэтапный отказ от наименее эффективных электростанций, работающих на угле;
- поэтапный отказ от неэффективных субсидий на ископаемое топливо;
- сокращение выбросов метана от добычи нефти и газа.

Почти половина сокращений выбросов, необходимых в SDS,

может быть достигнута путем быстрой реализации этих 5 ключевых мер.

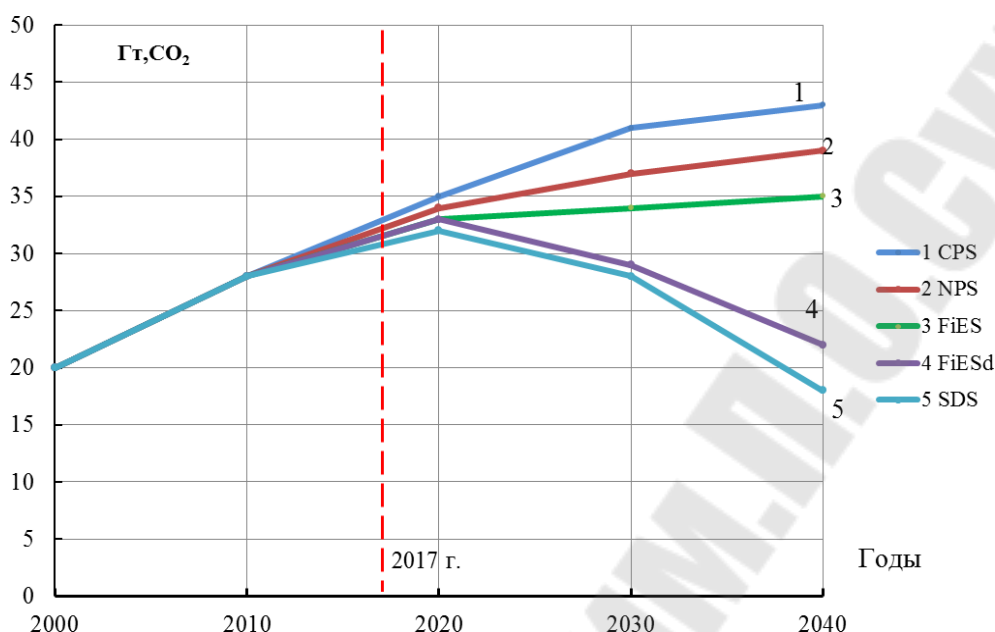


Рис. 6.6. Мировые выбросы CO<sub>2</sub> по сценариям, связанным с энергетикой [2, 39]:

1 – текущей политики (CPS); 2 – новой политики (NPS); 3 – будущее электричество (FiES); 4 – будущее электричество с декорбанизацией энергетического сектора (FiESd); 5 – устойчивого развития (SDS)

Достижение другой половины сокращений требует более глубокого осуществления этих же мер, а также широкого внедрения других технологий в области экологически чистой энергии, таких как широкое применение атомной энергии, улавливание и хранение углерода (carbon capture and storage-CCS) и улавливание, утилизация и хранение углерода (carbon capture, utilisation and storage – CCUS) [27].

## 6.5. Инвестиции в мировую энергетику

Электроэнергетический сектор сейчас привлекает больше инвестиций, чем нефтегазовая, так как необходимы инвестиции по мере изменения структуры генерации и модернизации устаревшей инфраструктуры [36].

В Сценарии государственной политики (SPS), спрос на энергию должен вырасти более чем на 25 % к 2040 г., что потребует более 2 трлн долл. в год инвестиций в новые поставки энергии [2]. При этом

инвестиции в энергетику составляют в среднем 2,2 трлн долл. в год в период с 2018 по 2025 гг., а затем – 2,8 трлн долл. в год.

На рис. 6.7. приведена динамика прогноза в мировую электроэнергетику для различных сценариев МЭА.

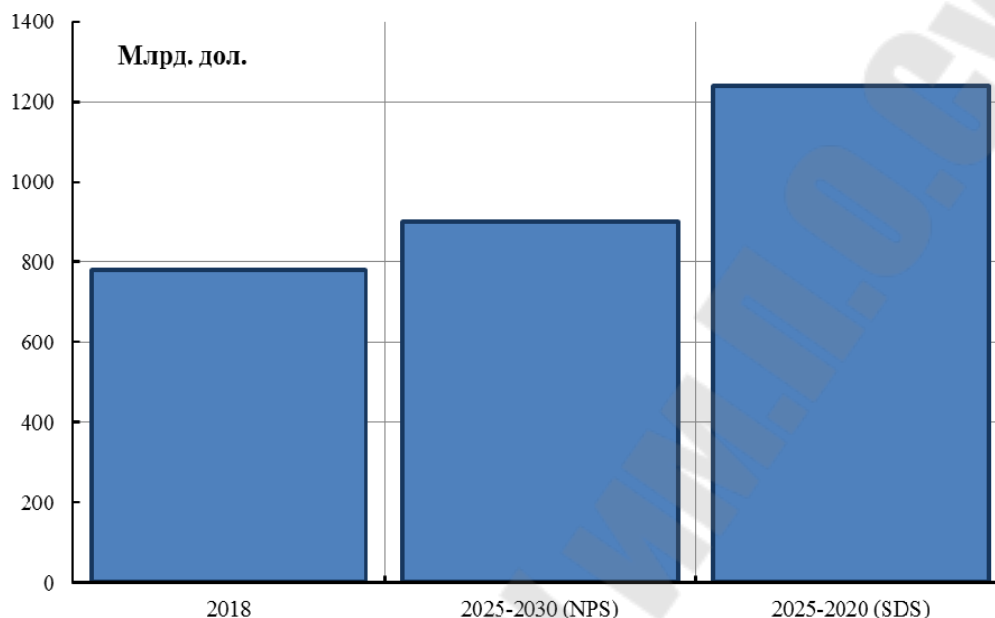


Рис. 6.7. Динамика прогноза в мировую электроэнергетику для различных сценариев МЭА [2]

В 2018 г. всего в энергетику было инвестировано 240 млрд долл.

Строительный сектор по-прежнему является крупнейшим направлением расходов на повышение энергоэффективности. Тем не менее впервые с тех пор, как World Energy Investment начала публиковать оценки, рост инвестиций в энергоэффективность зданий замедлился. В 2018 г. он сократился на 2 % до 139 млрд долл [2]. Это снижение роста инвестиций в энергоэффективность была в значительной степени результатом более низких расходов на энергоэффективные здания.

В период с 2017 по 2018 г. эффективность использования энергии на транспорте умеренно выросла, главным образом в сфере грузовых перевозок. Мировые продажи автомобилей были стабильными в 2018 г., с продолжающимся увеличением доли на рынке менее эффективных грузовиков малой грузоподъемности. Продажи большегрузных автомобилей выросли в Европе, Китае и Соединенных Штатах, в то время как ожидается, что новые стандарты транспортных средств в Индии (2018 г.) и Европейском союзе (2020 г.) будут спо-

способствовать увеличению расходов, связанных с эффективностью [2].

Из-за более высоких дополнительных цен на электромобили (EV) рост продаж EV оказывает все большее влияние на инвестиции в транспортную эффективность.

Общая тенденция инвестиций отражает более медленный прогресс в достижении результатов в области энергоэффективности, причем 2018 г. отмечает третий год подряд, в котором темпы повышения энергоэффективности замедляются [2].

Средние расходы на добычу нефти и газа увеличиваются с 580 млрд долл. в год в период с сегодняшнего дня до 2025 г. и до 740 млрд долл. в год с 2025 г. по 2040 г. На возобновляемые источники энергии по-прежнему приходится наибольшая доля инвестиций в производство электроэнергии, при этом среднегодовые расходы составляют в среднем 350 млрд долл. [36].

Увеличение инвестиций в нефтегазовую отрасль для балансирования рынка на ближайшую перспективу в сочетании с небольшим ростом затрат означает, что доля расходов на ископаемое топливо снова превосходит электроэнергию в общем объеме инвестиций в поставку. На США приходится почти 20 % от общего объема инвестиций в добычу нефти и газа в мире, за ними следует Ближний Восток с почти 15 % [27].

В сценарии устойчивого развития (SDS) значительные улучшения в эффективности использования топлива приводит к пику спроса на нефть вскоре после 2020 г. К 2030 г. мировое потребление нефти снижается примерно на 1,7 % в год.

Инвестиции в повышение энергоэффективности увеличиваются во всех секторах конечного потребления. На строительный сектор приходится почти 40 % совокупных инвестиций в энергоэффективность, из которых почти 60 % приходится на более энергоэффективные дома, бытовые приборы и оборудование.

Среднегодовые инвестиции со стороны предложения в сценарий (SDS) до 2040 г., включая поставки топлива и электроэнергии, увеличиваются примерно на 15 % по сравнению с сегодняшним уровнем [36].

Энергетическая политика в переходный период сталкивается с двойной проблемой: ускорять и расширять инвестиции в более чистые, интеллектуальные и более эффективные энергетические технологии и в то же время обеспечивать, чтобы все ключевые элементы энергоснабжения, включая электрические сети, оставались надежными благодаря продолжению инвестиций.

## Литература

1. Цели в области устойчивого развития. Добро пожаловать в ООН. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/-ru/>.
2. World Energy Outlook 2018 examines future patterns of global energy system at a time of increasing uncertainties. – URL: <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/november/world-energy-outlook-2018-examines-future-patterns-of-global-energy-system-at-a-t.html>.
3. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda : Working draft // Sustainable Development Knowledge Platform, 19 March 2015 /United Nations.
4. Шилец, Е. С. Энергетическая трилемма – основа устойчивого развития топливно-энергетического комплекса / Е. С. Шилец, В. А. Кравченко, Т. В. Лукьяненко // Вестник института экономических исследований – 2017. – № 3. – С. 27–34.
5. Energy Poverty: How to make modern energy access universal? // Special early excerpt of the World Energy Outlook (WEO) 2010 for the UN General Assembly on the Millennium Development Goals, Paris, 2010 / International Energy Agency (Международное энергетическое агентство (МЭА)). – Paris, 2010. – URL: <http://www.iea.org/publications/frepublications/publication/Weo2010-special-report-how-to-make-modern-energy-access-universal.html>.
6. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года / Ин-т энер. исслед. РАН ; Аналит. центр при Правительстве Рос. Федерации. – М. : ИНЭИ РАН ; АЦ, 2013.
7. Energy for 2050: Scenarios for a Sustainable Future. IEA. – Paris, 2003. – URL: <https://www.iea.org/reports/energy-to-2050-scenarios-for-a-sustainable-future>.
8. Energy Technology Perspectives. – Paris, 2006 : 2008 : 2010.
9. The global energy/Revolution 2010. – Greenpeace, 2010. – URL: <https://www.greenpeace.org/usa/research/greenpeace-energy-r-evolution/>.
10. The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge//World Economic Forum, Geneva, Switzerland. – Geneva, 2017. – 32 p. – URL: [www.weforum.org](http://www.weforum.org)). <https://www.se.com/ww/en/insights/sustainability/>.
11. Кононенко, В. Ю. Мы за системную «интеллектуализацию» отечественной электроэнергетики // В. Ю. Кононенко, Е. Сергеева,

А. Парафейникова // Региональная энергетика и энергосбережения. – 2018. – № 3. – С. 26–30.

12. Декарбонизация, децентрализация и цифровизация меняют правила игры на энергорынке. Энергоинновация. – URL: <https://xn--80adchqc3adahds0g3dyb.xn--p1ai/gb/dekarbonizaciya-decen-tral-izaciya-i-cifrovizaciya-menyayut-pravila-igry-na-energorynke/>.

13. Paris agreement. = Парижское соглашение. – Paris. – 12.12.2015. – 25 p. – URL: [https://ec.europa.eu/clima/euaction/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement\\_en](https://ec.europa.eu/clima/euaction/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en).

14. Klemun, M. Grid Edge: Utiliti Modernization in the Age of Distributed Generation / M. Klemun, – 2013. – DOI 10.13140/RG.2.1.4545.0649. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/301654972\\_Grid\\_Edge\\_Utility\\_Modernization\\_in\\_the\\_Age\\_of\\_Distributed\\_Generation](https://www.researchgate.net/publication/301654972_Grid_Edge_Utility_Modernization_in_the_Age_of_Distributed_Generation).

15. Mission possible. Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century. – November, 2018. – 171 p. – URL: <https://www.energy-transitions.org/publications/mission-possible/>.

16. Internet of decentrlized energy architecture / IDEA. – URL: [IDEA-whitepaper-en.pdf https://idea-go.tech/IDEA-whitepaper-en.pdf](https://idea-go.tech/IDEA-whitepaper-en.pdf).

17. Негребецкий, С. Квадратура энергетического круга / С. Негребецкий. – URL: <https://www.electroblues.com.ua/kvadratura-energeticheskogo-kruga>.

18. Массель, Л. В. Современный этап развития искусственного интеллекта (ИИ) и применение методов и систем ИИ в энергетике / Л. В. Массель // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2021. – № 4 (24). – С. 5–20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-etap-razvitiya-iskusstvenno-go-intellekta-ii-i-primenenie-metodov-i-sistem-ii-v-energetike>.

19. Свет цифрового будущего: что такое цифровая энергетика и как она изменит «Росэнергоатом». – URL: <https://up-pro.ru/library/strategi/tendencii/cyfrovaaya-energetika/>.

20. Фундаментальные проблемы интеллектуальных энергетических систем и пути их решения / под. ред. чл.-кор. РАН. В. А. Стенникова. – М. : ИСЭМ СО РАН, 2017. – 48 с. – URL: <https://isem-irk.ru/upload/iblock/56b/56bdf5b4d92a7f5ad350679459843f3c.pdf>.

21. Миловидов, В. Инновации, устойчивый рост и энергетика: возможен ли цивилизационный рывок? / В. Миловидов. – URL: <https://-foresight-journal.hse.ru/data/2019/04/02/1190800092>.

22. Мартынова, А. Электроэнергетика 4.0: перейти на цифру / А. Мартынова – URL: <https://atomicexpert.com/electricenergy40>.
23. World Oil Outlook 2040 / ОПЕК. – Austria, Vienna, 2018. – 412 p. – URL: [www.opec.org](http://www.opec.org).
24. Миловидов, К. Н. Масштабная цифровизация – новая эра в энергетике / К. Н. Миловидов // Глобальная энергетическая трансформация: экономика и политика : 5-я Междунар. конф., Москва, дек. 2017 г. / ИМЭМО РАН – РГУ. – М., 2017. – URL: [https://www.imemo.ru/files/File/ru/conf/2017/15122017/04\\_3\\_Milovidov.pdf](https://www.imemo.ru/files/File/ru/conf/2017/15122017/04_3_Milovidov.pdf).
25. Миронова, И. Декарбонизация экономики: что это, чем грозит, и какую роль в этом процессе может сыграть природный газ? / И. Миронова. – Туркменистан, Ашхабад, 2017. – 19 с.
26. Декарбонизация Финляндии – чем не пример для подражания? – URL: [https://www.bbc.com/russian/blogs/2013/07/130-709\\_eco\\_blog\\_esipov\\_finland](https://www.bbc.com/russian/blogs/2013/07/130-709_eco_blog_esipov_finland).
27. World Energy Model. Documentation. 2019 Version / IEA. – 2020. – 88 p. – URL: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/d496ff6a-d4ca-4f6a-9471-220adddf0efd/WEM\\_Documentation\\_WEO2019.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/d496ff6a-d4ca-4f6a-9471-220adddf0efd/WEM_Documentation_WEO2019.pdf).
28. Energy Technology Perspectives. – URL: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.
29. Заявление о «справедливом переходе» к энергетической безопасности – URL: [https://www.epsu.org/sites/default/files/article/files/Final%20just%20transition%20statement\\_RU.pdf](https://www.epsu.org/sites/default/files/article/files/Final%20just%20transition%20statement_RU.pdf).
30. WEO Scenarios. – URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-model/understanding-weo-scenarios>.
31. Салыгин, В. И. Обзор сценариев развития мировой энергетики. Мировая экономика / В. И. Салыгин, И. И. Литвинюк. // Вестник МГИМО – С. 197–207. – URL: <https://www.vestnik.mgi-mo.ru/jour/article/viewFile/525/525>.
32. Белогорьев, А. М. Тренды и сценарии развития мировой энергетики в первой половине XXI века / А. М. Белогорьев ; под ред. В. В. Бушуева. – М. : Энергия, 2011. – 68 с. – URL: <http://www.energystrategy.ru/editions/docs/1-4-494RU.pdf>.
33. Standardized Ranking Methodology Climate Think Tank / International Center for Climate Governance. – URL: <https://www.scimagoir.com/methodology.php>.
34. New Lens Scenarios. A shift in perspective for a World in transition / Shell Scenarios. Shell International BV. – URL: <http://file:///C:/Users/Nadezhda/Downloads/scenarios-newdoc.pdf>.



35. Shell energy scenarios to 2050 / Shell International BV. – URL: <https://www.ge.com/digital/future-of-energy/> – (date of access: 29.08.2022).

36. The Gold standard of energy analysis. World Energy Outlook. 2019 (WEO). – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/-98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf>.

37. IEA in the Age of Trump: policies will determine where we go from here. – URL: <http://energypost.eu/iea-policies-will-determine-where-we-go/>.

38. Bhattacharyya, Subhes C. Govinda Energy demand models for policy formulation : a comparative study of energy demand models (English) / C. Subhes Bhattacharyya, R. Timilsina. – URL: <http://hdl.handle.net/10986/4061>.

39. Off track. How the international energy agency guides energy decisions towards fossil fuel dependence and climate change / Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA). – USA, 2018. – 46 p.

40. Solar PV capacity to overtake all but gas by 2040 / IEA World Energy Outlook. – URL: <https://www.pv-magazine.-com/2018/11/13/iea-world-energy-outlook-solar-pv-capacity-to-overtake-all-but-gas-by-2040>.

41. Эксперт: к 2040 году необходимость в атомной энергетике сохранится. – URL: [https://polit.ru/article/2016/11/17/kondratiev\\_rel](https://polit.ru/article/2016/11/17/kondratiev_rel).

## **Глава 7. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**7.1. Энергосбережение в химической промышленности. 7.2 Энергосбережение в нефтеперерабатывающей промышленности. 7.3 Энергосбережение в машиностроении. 7.4. Энергосбережение в металлургии. 7.5. Энергосбережение в целлюлозно-бумажной промышленности. 7.6. Энергосбережение в промышленности стройматериалов. 7.7. Энергосбережение в текстильной и легкой промышленности. 7.8 Энергосбережение в пищевой промышленности. 7.9 Энергосбережение на транспорте. 7.10. Перечень типовых мероприятий по энергосбережению.**

Рассматривается опыт рационального использования энергоресурсов и энергосбережения в различных отраслях промышленности.

Схемы энергоснабжения в большинстве своем одинаковы для предприятий самого различного назначения. На любом промышленном предприятии имеются насосы, вентиляторы, компрессоры и другое оборудование. Здесь рекомендации по энергосбережению можно считать достаточно универсальными. Но у каждой промышленной отрасли имеется свой, присущий только ей, набор технологического оборудования. Поэтому технология энергоиспользования в зависимости от вида выпускаемой продукции может значительно изменяться.

На основании литературных источников были проанализированы удельные показатели по потреблению энергии по отраслям.

### **7.1 Энергосбережение в химической промышленности**

Абсолютно все химические производства потребляют энергию. Процессы отрасли связаны либо с использованием, либо с взаимным обращением энергии. Электрическая энергия используется для электрохимических, электротермических и электромагнитных процессов. Это электролиз, плавление, нагревание, синтез. Для процессов измельчения, смешивания, работы компрессоров и вентиляторов используется превращение электрической энергии в механическую. Для протекания физических процессов, которые не сопровождаются нагреванием, плавлением, дистилляцией, сушкой, т. е. химическими реакциями, используется тепловая энергия. Химическая энергия ис-

пользуется в гальванических приборах, где превращается в электрическую. Световая энергия применяется для осуществления фотохимических реакций [1].

Наиболее энергоемким является производство следующих продуктов: аммиака, каустической соды, химических волокон, желтого фосфора, пластмасс, метанола, капролактама, ацетата, хлора, этилена, дивинила, полиэтилена.

Поэтому при решении вопросов энергоэффективности надо, в первую очередь, уделять внимание этим производствам.

Основными направлениями снижения энергоемкости производства в химической промышленности являются следующие:

- 1) создание и внедрение новых технологических процессов;
- 2) автоматизация поточных линий производств, обеспечивающая наиболее эффективное использование сырьевых, материальных ресурсов и ТЭР;
- 3) исключение промежуточных операций (перекачка сырья, их охлаждение и последующий нагрев);
- 4) применение катализаторов, позволяющих повысить выход целевых продуктов;
- 5) широкое применение сбросной энергии для технологических нужд в системах внутризаводской промышленной теплофикации [2].

На рис. 7.1 и в табл. 7.1 приведены энергетические ресурсы на получение некоторых химических производств.

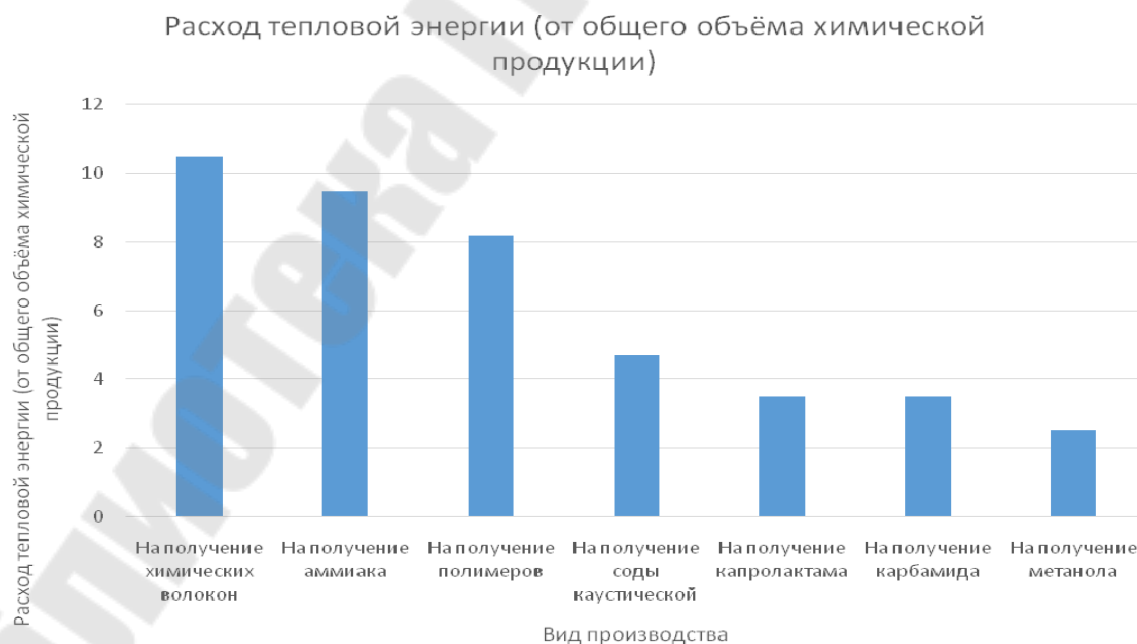


Рис. 7.1. Расход тепловой энергии

Таблица 7.1

**Энергоемкость некоторых производств  
(в тоннах условного топлива на 1 т продукта)**

Показатели	Значения
1. Этилен и пропилен	2,8–3,6
2. Стирол	6,8
3. Бутадиен	7,2
4. Полиэтилен и полипропилен	3,9

В промышленности синтетического каучука снижение расхода энергии может быть достигнуто внедрением новых технологических схем с меньшими удельными расходами энергоресурсов, абсорбционных машин и реконструкцией существующих технологических схем с применением новых высокоэффективных катализаторов и др.

В шинной промышленности значительной экономии энергии можно добиться за счет повышения загрузки технологического оборудования, снижения брака и возвратных расходов, сокращения режимов вулканизации, широкого внедрения автоматизации в процесс приготовления резиновой смеси, внедрения микроволнового нагрева и др.

Отличительной особенностью предприятий химической промышленности является то, что большое количество используемых энергоресурсов позволяет покрыть 50 % собственных нужд в теплоте. Для решения данной проблемы необходима разработка и реализация комбинированных энерготехнологических систем (КЭТС), органически связывающих энергетическую и теплоэнергетическую системы с целью обеспечения наиболее высокой экономической эффективности выработки заданных уровней энергетической и технологической продукции.

Исходными предпосылками для создания КЭТС служат принципы предельного энергосбережения. Под предельным энергосбережением понимается экономически обоснованное минимально возможное энергопотребление на единицу готовой продукции, т. е. с учетом неизбежных потерь, связанных с необратимостью тех или иных процессов и затрат на создание и эксплуатацию термодинамически совершенных отдельных агрегатов и систем в целом.

На основе термодинамического анализа процессов определяются минимально необходимые затраты энергии на их реализацию. В большинстве случаев эффективным является эксергетический метод оценки термодинамического совершенства отдельных процессов,

агрегатов и систем, хотя проведение эксергетического анализа осложняется тем, что трудно правильно учесть влияние изменений термомеханической и химической эксергии на оценку термодинамического совершенства, так как зачастую химическая эксергия во много раз превышает термомеханическую.

В химических технологиях многие процессы протекают с выделением или поглощением теплоты, температурный уровень определяет, как количество, так и качество получаемого продукта. Поэтому определение количества и качества энергоресурсов, выделяющихся в технологических процессах, является важным шагом для разработки КЭТС.

Синтез тепло технологических систем целесообразно проводить на основе максимальной рекуперации теплоты в самих системах. Анализ уже решенных задач синтеза оптимальных систем теплообмена показывает, что основная статья приведенных годовых затрат - это эксплуатационные затраты на догрев и до охлаждения потоков до заданных температур во внешней системе теплообмена. Эти затраты существенно превышают затраты на внутреннюю систему теплообмена. Поэтому системы, синтезированные по максимуму рекуперированной теплоты, оказываются наиболее экономичными.

Разработка теплоэнергетических систем производится на основе энергетического баланса (ЭБ) предприятия и определения потребностей в различных видах энергоресурсов. Создание теплоэнергетических систем и КЭТС с минимальным энергопотреблением возможно только на базе максимального использования внутренних энергоресурсов тепло технологий.

В системах отопления, вентиляции, горячего водоснабжения непосредственное использование низко потенциальной теплоты и теплоносных установок является обоснованным, так как энергетическая эффективность таких систем в ряде случаев достаточно высока, особенно при наличии дешевых источников для привода компрессоров. Перспективно использование низко потенциальной теплоты в системах термического обессоливания воды, получения искусственного холода.

## **7.2. Энергосбережение в нефтеперерабатывающей промышленности**

Нефтеперерабатывающая промышленность является одной из энергоемких перерабатывающих отраслей. Предприятия этой промышленности производят топливо для двигателей и самолетов, дизельное топливо, мазут, сжиженный нефтяной газ, смазочные масла и

сырье для химических заводов. Сырая нефть очищается до нефти, которая служит сырьем для производства ацетилена, метанола, аммиака и многих других химикатов [14].

Современные нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) состоят из отдельных комплектных технологических установок, число которых принимается в соответствии с годовой производительностью. Производительность крупных НПЗ достигает 20 млн т в год. Среди отраслей тяжелой промышленности нефтеперерабатывающая промышленность занимает первое место по потреблению пара; второе, вслед за черной и цветной металлургией по потреблению топлива и электроэнергии. В процессах нефтепереработки в настоящее время на собственные нужды используется энергия, эквивалентная 8–10 % всего объема перерабатываемой нефти, причем немногим более половины всех собственных нужд удовлетворяется органическим топливом (нефть и газ), более трети – теплом и свыше 10 % – электроэнергией. Таким образом, около половины потребляемой энергии используется в виде газожидкостного топлива, которое сжигается в основном в трубчатых печах. На нефтеперерабатывающих заводах с неглубокой переработкой нефти потребляют топливо в количестве 3–4 %, а на предприятиях со значительной долей вторичных процессов – до 10 % от перерабатываемой нефти [16].

Нефтеперерабатывающие заводы России и Беларуси создавались в основном в 40–60 гг. Примерно 60 % установок первичной переработки нефти и 70 % установок по вторичным процессам находятся в эксплуатации более 20 лет. При этом нормативный срок службы установок составляет от 10 до 14 лет. Таким образом, оборудование многих установок устарело, более 40 % машин и оборудования не соответствует современному уровню и подлежит замене. В результате нефтеперерабатывающие заводы характеризуются значительным отставанием по основным показателям от западных предприятий. Глубина переработки в среднем на 20–25 процентных пунктов ниже и составляет 60–65 %. Около 40 % продукции НПЗ составляют остатки с высоким содержанием серы, которые используются как котельное топливо. Наряду с этим качество нефтепродуктов в большинстве случаев не соответствует международным нормам.

Удельное потребление энергии на собственные нужды оценочно вдвое превышает значения, характерные для современных предприятий Запада.

Основными направлениями по снижению энергозатрат на нефтеперерабатывающих предприятиях являются следующие:

- повышение КПД печей путем внедрения теплоутилизационного оборудования, замены устаревших горелочных устройств, усиления теплоизоляции, оптимизации режима горения на основе оснащения печей средствами автоматического контроля и управления режимами горения;

- комбинирование технологических процессов, применение новых высокоэффективных катализаторов и экстрагентов;

- модернизация действующих технологических установок;

- комбинированное производство электроэнергии и тепла с использованием газотурбинных ТЭЦ.

Затраты первичных энергоресурсов на переработку нефти согласно оценкам могут быть сокращены примерно на 9 млн т у. т. за счет модернизации действующих и внедрения новых технологических установок, применения эффективных катализаторов, использования утилизационного оборудования [16].

В табл. 7.2 приведены удельные расходы топлива, тепловой энергии и электрической энергии по некоторым установкам и выпускаемой продукции предприятий нефтепереработки.

Таблица 7.2

**Удельные расходы топлива, теплоэнергии и электроэнергии по некоторым установкам предприятий нефтепереработки**

Установка	Удельный расход топлива, кг у. т./т	Удельный расход теплоэнергии, МДж/т	Удельный расход электроэнергии, кВт · ч/т
Первичная переработка нефти	30,3	82,8	14,5
Гидрокрекинг	173,2	81,3	—
Термический крекинг	48,4	96,4	14,8
Каталитический крекинг	54,6	207,0	59,6
Каталитический крекинг на облагораживание	94,7	136,0	—
Производство масел	212,0	2763,0	284,0
Коксование	75,6	222,0	30,4

Гидроочистка топлива	25,0	17,5	–
Производство катализатора	–	–	2368, 0



Повышение энергоэффективности нефтедобычи – актуальная задача для большинства нефтегазовых компаний. Значительная доля месторождений сегодня находится на поздней стадии жизненного цикла, что чревато высоким процентом малодебитных скважин и скважин с высокой степенью обводнения. Если говорить о новых лицензионных участках, то их запасы в большинстве своем относятся к категории трудноизвлекаемых в силу географического расположения и геологии пласта. В том и другом случае добывающим компаниям очень важно снизить себестоимость производства нефти, поэтому сокращение издержек на энергоресурсы становится неременным условием конкурентоспособности. Повышение энергоэффективности месторождений начинается с внедрения систем энергоменеджмента. Такие системы позволяют проанализировать текущую ситуацию, а затем оптимизировать режимы работы технологического оборудования; к примеру, действенной мерой может быть перевод малодебитных скважин в режим периодической эксплуатации. Немаловажную роль играет мотивации персонала, его высокая вовлеченность в достижение целей по энергоэффективности. Но, пожалуй, главный ключ к успеху – освоение современного энергоэффективного оборудования и технологий нефтедобычи. Применительно к нефтедобыче – это «умное месторождение» (Smart Field), т. е. система, позволяющая управлять нефтяным пластом и контролировать процесс добычи таким образом, чтобы, с одной стороны, увеличить производство нефти, а с другой – оптимизировать затраты на потребляемую энергию [3].

### **7.3. Энергосбережение в машиностроении**

Все машиностроительные предприятия подразделяются на два основных класса:

- 1) с полным технологическим циклом производства (имеющие собственную металлургическую базу и литейное производство);
- 2) с неполным технологическим циклом, в том числе: не имеющие металлургической базы, но имеющие литейное производство; не имеющие ни металлургической базы, ни литейного производства.

Основные цеха машиностроительных предприятий – литейные, термические, механической обработки, прессовые, сварочные, сборочные, инструментальные и ряд других. В зависимости от отрасли машиностроения и профиля предприятия ряд указанных выше цехов может отсутствовать, также могут быть и другие цеха.

Большие резервы экономии топлива в машиностроении и некоторых других отраслях заключены в совершенствовании пламенных термических и нагревательных печей за счет совершенствования их конструкций, оснащения рекуператорами, современными автоматизированными горелочными устройствами, системами автоматизированного управления процессами горения и термообработки. Тепловой КПД печей может быть увеличен в 2–4 раза [14]. При оценке потенциала экономии электроэнергии в термических электрических печах учтены также возможности повышения КПД печей на 10 % за счет снижения тепловых потерь. Примерно 20 % металла может подвергаться поверхностному, вместо объемного, нагреву, что позволяет снизить расход электроэнергии в десятки раз. Повышение КПД топливных печей должно привести к более широкому их использованию и снижению объёма термообработки в электрических печах. Потенциал энергосбережения по термическим и нагревательным печам в машиностроении определен на уровне 10–12 млн т у. т. [16].

На современном этапе машиностроение характеризуется широким использованием всех видов энергии за счет различных энергоносителей: электроэнергия, пар, горячая вода, жидкое, газообразное и твердое топливо.

К показателям эффективности использования энергоресурсов для предприятий машиностроительного комплекса относятся:

- энергоемкость продукции (т у. т./руб.);
- электроемкость продукции (кВт · ч/руб.);
- теплоемкость продукции (ГДж/руб. или Гкал/руб.);
- топливоемкость продукции (кг у. т./руб.).

На долю электроэнергии приходится около 24 %, топлива – 38 %, теплоэнергии – 38 %. На технологические цели в машиностроении расходуется 10–15 % потребляемой энергии. Уровень электрификации в машиностроении выше, чем в промышленности в целом, причем более половины электроэнергии используется в механических процессах. На некоторых машиностроительных предприятиях удельный вес электротехнологических процессов превышает 50 %. К их числу относятся тракторные, автомобильные и станкостроительные предприятия. Разработаны и внедрены в производство ряд принципиально новых технологических процессов (электрохимическая и электро-ионная технология, плазменная обработка и др.) [4].

На основе опыта развитых зарубежных стран в России вопрос энергосбережения решается за счет проведения организационных ме-

роприятий на промышленных предприятиях: проводится контрольное обследование энергопотребления всех крупных потребителей энергии, цехов и всего предприятия. По результатам обработки результатов обследования составляются детальные энергетические балансы каждого технологического процесса, цеха, предприятия. Они позволяют оценить, соответствуют ли технологические процессы данного предприятия уровню передовых стран по удельным расходам энергии, и наметить необходимые изменения в технологии и конструкции потребителей энергоресурсов; организуется учет потребления энергоресурсов. Правильная организация учета энергопотребления позволяет экономить 5–10 % энергоресурсов без дополнительных мероприятий; разрабатываются и внедряются мероприятия по сокращению потребления энергоресурсов. Потенциальные возможности энергосбережения заложены в стратегии эксплуатации и технического обслуживания, в стратегии модернизации оборудования и технологических процессов, в стратегии замены существующего оборудования на новое менее энергоемкое и внедрение новых технологий.

На предприятиях с полным технологическим циклом наибольшего снижения расходов энергоресурсов можно добиться в металлургическом, электротермическом производстве и в производстве сжатого воздуха и кислорода.

На предприятиях с неполным технологическим циклом, но имеющих литейное производство, основное внимание следует уделять энергосбережению в литейных и термических цехах и при выработке сжатого воздуха и кислорода. Для данных цехов показателями эффективности использования энергоносителей должны являться удельные расходы на единицу выпускаемой продукции.

Основные направления ресурсосбережения в машиностроении можно представить в виде следующей структуры [5] (рис. 7.2):

На машиностроительных предприятиях с большим количеством металлообрабатывающих станков значительной экономии электроэнергии можно добиться следующими мероприятиями:

- 1) уменьшением припусков и изменением формы заготовок с приближением их к форме готового изделия;
- 2) фрезерованием плоскостей взамен шлифования на плоскошлифовальных станках;
- 3) применением многошпиндельных станков вместо одношпиндельных для сверления отверстий;
- 4) выполнением фрезерных работ с установкой на одном станке нескольких фрез;

- 5) увеличением загрузки или заменой недогруженных электродвигателей двигателями меньшей мощности;
- 6) изменением параметров резания;
- 7) внедрением прогрессивного инструмента из твердых сплавов с износостойкими покрытиями.



Рис. 7.2. Распределение источников возможной экономии металла

В машиностроительной промышленности широко используется сжатый воздух; системы получения и снабжения сжатым воздухом тоже имеют большую энергоемкость. Значительную экономию тепловой энергии можно получить в системах отопления цехов и складов машиностроительных предприятий за счет отказа от традиционных методов отопления с помощью радиаторов и калориферов, и перехода на инфракрасный газовый обогрев. Высота корпусов машиностроительных предприятий достигает 30 м. При существующей системе отопления большая часть теплоты в таких цехах уходит под крышу и бесполезно теряется. При инфракрасных обогревателях, устанавливаемых под потолком, тепловая энергия передается моментально и непосредственно полу, стенам, предметам и самим работающим. Другими словами, отпадает необходимость нагревать воздух всего цеха (помещения), за счет чего можно экономить 50–60 % тепловой энергии.

Таким образом, можно выделить следующее распределение источников возможной экономии топливно-энергетических ресурсов для предприятий машиностроительного комплекса [5] (рис. 7.3):



Рис. 7.3. Распределение источников возможной экономии топливно-энергетических ресурсов для предприятий машиностроительного комплекса

## 7.4. Энергосбережение в металлургии

Металлургия является одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности. При этом характерная особенность металлургических процессов – это то, что наиболее значительная часть (до 80–90 %) энергетических ресурсов тратится не на процессы нагрева и отопления, а именно на реализацию собственно технологий [14].

По материалам Н. И. Данилова и Я. М. Щелокова [15], можно понять, что в настоящее время во всем мире ресурсы высококачественных руд быстро сокращаются. Возможно, что этот вид минерального сырья использован практически полностью. В этой ситуации заметно растет расход энергии на добычу бедной руды, её очистку, обогащение с целью получения концентратов с достаточно богатым содержанием необходимого металла. В настоящее время это особенно характерно для трех основных конструкционных металлов – железа, алюминия и меди. Для подготовки исходной руды к плавке (железная

руда, глинозем, медные руды) необходимо наличие ресурсов дешевой электрической энергии. Пожалуй, наиболее характерно это для медной руды, которая подлежит переработке, если в ней содержится около 0,2 % меди. Обогащение выполняется до получения концентрата, содержащего около 25 % меди. Любой процесс обогащения связан с дроблением, измельчением руды с последующей флотацией. Для ряда железных руд возможно использование магнитных средств. Поэтому последние 20–30 лет в мировой практике шел интенсивный поиск методов обогащения руд с целью снижения расхода энергии.

В черной металлургии такими методами можно назвать следующие:

- катионная флотация кремнезема из руды;
- флокуляция окислов железа перед флотацией;
- обжиг немагнитных руд с целью превращения в магнитные;
- замена железорудного агломерата на окатыши и др.

В алюминиевой промышленности кроме традиционных методов пытаются использовать выщелачивание глинозема соляной кислотой, азотной кислотой, хлорирование, использование электротермических процессов и т. д. Для металлургической промышленности индустриально развитых стран характерно то, что в этих странах существует неуклонное снижение удельных расходов энергии на 1 т произведенной продукции, примерно по 1–1,5 % в год.

Показатель энергопотребления в главных европейских металлургических заводах полного цикла в настоящее время составляет менее 20 ГДж (682 кг т у. т.) на тонну жидкого металла, причем почти 100 % потребности в паре, тепле и электроэнергии могут покрываться за счет их выработки на базе металлургических газов.

К настоящему времени полная энергоемкость металлургической промышленности в среднемировом измерении примерно составляет (в кг у. т./т продукции): медь – 5000; сталь – 750–850; алюминий – 7000; огнеупоры – 220.

Другая очень характерная особенность в развитии металлургической промышленности западных стран – это массовое использование передовых энергосберегающих технологий. Покажем это на примере технологий, созданных в СССР и получивших широкое развитие в западных странах (значительно большее, чем в России):

- непрерывная разливка стали дает снижение удельного расхода энергии на производство стали на 20 %;
- сухое тушение кокса. В зарубежной практике мокрое тушение

кокса практически отсутствует;

- испарительное охлаждение металлургических агрегатов. Снижает расход энергии в 2–3 раза по сравнению с оборотной (открытой) схемой охлаждения.

Необходимость проведения активной политики энергосбережения в металлургии обосновывается в основном тем, что в настоящее время на производство и обработку металлов в нашей промышленности приходится более половины энергозатрат из общего их потребления. Соответственно, доля продукции машиностроения и металлообработки в валовом внутреннем продукте (ВВП) страны является наиболее весомой, а поэтому влияние ее энергоемкости на ВВП является определяющим. Эти тенденции хорошо видны на примере Свердловской области – региона, где в настоящее время основная доля промышленного производства приходится на металлургический комплекс.

Этим напрямую вызван опережающий рост объемов потребления преобразованных видов энергии (электроэнергии, кислорода, пара и др.)

Одна из определяющих причин такой тенденции – повышенные расходы топливно- энергетических ресурсов на единицу продукции для большинства металлургических переделов на отечественных заводах по сравнению со среднемировыми показателями, %:

- производство стали – 50;
- производство стального проката – 80–100;
- производство меди – 200–250;
- плавка алюминия – 30;
- производство огнеупоров – 200.

Такое состояние с энергоемкостью продукции диктует необходимость целенаправленной энергосберегающей политики.

Как отмечали И. Н. Данилов и Я. М. Щелоков [15], технологические процессы в большинстве своем отличаются повышенным удельным расходом энергии, поэтому на пути энергосбережения можно выделить тактические и стратегические шаги. К тактическим можно отнести организацию учета расходования энергоресурсов на разных уровнях, в том числе и на отраслевом, что сейчас, кстати, не делается, несмотря на такое требование в последних ГОСТах по энергосбережению, а также введение нового интегрального показателя – полной энергоемкости производства продукции. К другим шагам данного уровня следует отнести организационные и режимные мероприятия.

Стратегические подходы связаны, как правило, с реконструкцией производства, внедрением новых энергосберегающих технологических процессов.

*В этом плане следует отметить ряд мероприятий.*

Наибольшие резервы экономии энергоресурсов в металлургии в общем плане заключены в реализации или дальнейшем развитии направлений, приведенных ниже:

- развитие сырьевой базы с первоочередным укреплением базы ресурсов, которые были ослаблены в связи с распадом СССР (марганец, хром и др.);

- комплексное использование сырья. Это реальный путь снижения энергозатрат в горнодобывающем переделе;

- более широкое использование техногенных ресурсов, в первую очередь, отходов. Необходимо развитие сложившейся технологической цепочки «руда – металл – отходы» еще одним переделом – «переработка»;

- повышение качества металла (установка агрегатов печь – ковш, вакууматоров, развитие четвертого передела;

- дальнейшее увеличение производства проката с улучшенными прочностными и защитными свойствами и в расширении его ассортимента. В то же время за счет более широкого применения прогрессивных конструкционных материалов, пластмасс, клееных деревянных конструкций возможно снижение объема производства проката, оцениваемое на уровне 13–15 млн т с экономией 17–20 млн т у. т.;

- более полное использование ресурсов лома и вторичного сырья;

- перевод существующих производственных заводских котельных на комбинированную выработку тепловой и электрической энергии;

- развитие рекуперативного теплообмена в топливопотребляющих технологических установках;

- снижение тепловых потерь при производстве преобразованных видов энергии, в том числе за счет использования вторичных энергоресурсов.

К числу других – более конкретных, но не менее важных направлений энергосбережения в металлургии следует отнести:

- использование тепла охлаждения агломерата в технологическом процессе;

- выполнение комплекса мероприятий по совершенствованию схем газовоздушных потоков технологического и теплового режима обжига окатышей;



- проведение реконструкции тепловой схемы обжиговых машин и установок «решетка трубчатая печь», модернизацию обжиговых машин;
- увеличение выплавки стали кислородно-конвертерным и электросталеплавильным способами (экономия – около 2,4–3,0 млн т у. т.);
- увеличение объема непрерывной разливки стали (экономия – 2–3 млн т у. т.);
- организацию горячего посада заготовок в нагревательные печи прокатного производства;
- внедрение АСУ нагревом слитков;
- установку рекуператоров;
- внедрение низкотемпературного нагрева металла под обычную и контролируруемую прокатку;
- установку газогорелочных устройств повышенной экономичности.

## **7.5. Энергосбережение в целлюлозно-бумажной промышленности**

В целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) различают следующие типы предприятий [14]:

- целлюлозно-бумажные и картонные комбинаты (ЦБК), в которых целлюлозные и древесномассные заводы комбинируются с бумажно-картонными фабриками, перерабатывающими собственные полуфабрикаты;
- бумажные и картонные фабрики, перерабатывающие целлюлозу, доставляемую в высушенном виде с других целлюлозных заводов;
- бумагоперерабатывающие предприятия, выпускающие изделия из привозного сырья.

Большинство видов бумаги и картона выпускаются из различных марок целлюлозы, древесной массы, тряпичной полумассы и макулатурной массы, которые после растворения различными химикатами в большом количестве воды поступают на сетку бумаго- или картоноделательной машины. Производство бумаги или картона, отбеливание готового продукта – завершающая стадия технологического процесса ЦБК, которому предшествуют сложные процессы производства целлюлозы и древесной массы. Поэтому в состав современного крупного комбината входят целлюлозный, древесномассный заводы, бумажная или картонная фабрика [17].

**Целлюлозный завод.** Для производства целлюлозы используются два способа: сульфатный и сульфитный. Исходным сырьем для *сульфитного* способа является древесина малосмолистых хвойных пород (ель, пихта), а также лиственных пород (бук, тополь, осина). Для *сульфатного* способа используется любая древесина, а также солома озимых и яровых культур, тростник. Технологический процесс подготовки древесины для сульфитного и сульфатного способов одинаков. Различаются указанные способы производства целлюлозы с процесса варки: при сульфитном способе варка щепы происходит при температуре пара 140–150 °С с использованием кислоты, а при сульфатном – с использованием щелочи при температуре пара 165–185 °С.

**Древесный завод** вырабатывает древесную массу для производства бумаги или картона. Процесс приготовления древесной массы состоит из следующих стадий: дефибрирования окоренного и пропаренного баланса, очистки и сортирования, а также сгущения и при необходимости отбеливания.

**Фабрики по производству бумаги или картона.** Исходным сырьем служат целлюлоза, древесная масса и различные химические присадки. Взятые в известном соотношении (в зависимости от сорта изготавливаемой бумаги) указанные полуфабрикаты, разбавленные до нужной концентрации, составляют бумажную массу, которая поступает на бумажно- или картоноделательную машину и имеет содержание воды до 99 %.

Большая часть воды, введенная в древесное волокно, отводится, и масса поступает на механическую сушку, которая осуществляется специальными прессами. После выхода бумаги из последнего пресса содержание воды в листе снижается приблизительно до 60 %. Затем бумага поступает на сушку, в результате которой содержание воды должно снизиться приблизительно до 7 %. Это наиболее энергоемкая стадия процесса. Сушку, как правило, производят путем испарения воды из бумаги в тот момент, когда она проходит вокруг цилиндров, обогреваемых изнутри паром.

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности – достаточно крупные потребители тепловой и электрической энергии. Из общего количества топлива, потребляемого всеми ЦБК, 74 % расходуется на выработку тепла, 20 % – электроэнергии (все крупные ЦБК имеют собственные ТЭЦ), 4% на технологические нужды и 2 % – на прочие нужды. Структура теплоснабжения характеризуется преобладающим расходом тепла на технологические нужды. Из общего количества теплоты около 80 % идет на основные технологические

процессы, около 15 % – на технологические нужды вспомогательных цехов и 5 % – на прочие нужды. Для технологических нужд используется пар давлением 0,09–0,14 и 0,4–0,8 МПа. Наиболее энергоемкие процессы – варка целлюлозы, выпаривание щелока, отбелка, облагораживание, сушка целлюлозы, бумаги и картона. На производство целлюлозы расходуется 37 % тепла, бумаги – 24 %, картона – 10 %.

Целлюлозно-бумажные комбинаты являются крупными потребителями электроэнергии. На производство бумаги расходуется 24 % потребляемой электроэнергии, картона – 9 %, целлюлозы – 17 %, древесной массы – 16 %, остальная часть идет на электрообеспечение технологических и вспомогательных механизмов.

В целом по целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) в зависимости от сорта выпускаемой бумаги и принятой технологии удельные расходы изменяются в довольно больших пределах. Так, расход электроэнергии на производство 1 т целлюлозы изменяется в пределах от 170 до 600 кВт · ч/т, расход тепловой энергии – от 1,23 до 9 Гкал/т.

В табл. 7.3 приведены данные об удельных расходах электрической энергии на некоторые виды продукции предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП). На ЦБП потребность в технологической теплоте в два раза и более превышает потребность в электроэнергии. Особенно большие расходы теплоты происходят в процессе сушки бумаги [4].

Таблица 7.3

**Удельные расходы электроэнергии на выпуск продукции ЦБП**

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т, по различным источникам информации		
Бумага:			
газетная	480	510	600
типографская	650	–	650
литографская	400	405	540
офсетная	500	675	685
писчая	700	–	600
оберточная	300	–	300
упаковочная	600	664	600
мешочная	40000	–	40000
электроизоляционн ая:			
– 4 мк	8500	–	8500
– 8 мк	750–	–	700–880

	880		
--	-----	--	--

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т, по различным источникам информации		
– 10 мк	465	500	475
– кабельная	335	318	325–360
Древесная масса	343	–	345
Целлюлоза:			
– сульфатная	628	–	630
– сульфитная:	656	–	535
• мягкая	346	–	345
• средняя	780*	–	150*
• жесткая	–	–	3–5**
• облагороженная	–	–	15–20**
• беленая	–	–	10**
• полуцеллюлоза	–	–	4**

Примечание. \*Удельные расходы, кВт · ч/м<sup>2</sup>. \*\*Удельные расходы, Вт · ч/м<sup>3</sup>.

Основными направлениями по снижению расходов теплоты в данном процессе являются:

- 1) применение инфракрасного излучения;
- 2) применение высокочастотного и микроволнового нагрева;
- 3) применение тепловых насосов.

Однако их выполнение требует больших капитальных вложений, поэтому желательны менее капиталоемкие мероприятия по снижению расходов ТЭР. К ним относятся:

• **В области экономии электроэнергии:**

- 1) увеличение начального давления пара перед турбинами заводских ТЭЦ;
- 2) максимальное использование энергии в непиковые периоды графика;
- 3) установка компенсирующих устройств для снижения потерь электроэнергии;
- 4) увеличение коэффициента загрузки электродвигателей;
- 5) применение более производительного оборудования для варки;
- 6) замена древесного волокна бумажными отходами.

• **В области экономии пара:**

- работа паровых котлов с максимальной производительностью;

- своевременный их ремонт и контроль работы с помощью ЭВМ;
  - исключение утечек пара;
  - контроль потребности в паре;
  - теплоизоляция паропроводов, арматуры и емкостей;
  - ограничение потребления пара до установленного максимума;
  - снижение давления пара в котлах.
  - ***В области экономии теплоты:***
    - сбор и возврат конденсата для нагрева питательной воды котлов;
    - вторичное использование горячей промывочной воды;
    - исключение пересушки;
    - утилизация сбросной теплоты уходящих газов котлов;
    - утилизация сбросной теплоты воздуха над бумажными машинами;
    - очистка сушилок для повышения коэффициента теплопередачи.
- Также для предприятий устанавливаемые нормы расхода тепловой энергии должны быть дифференцированы в зависимости от объема выпуска продукции. Для повышения ЭЭФ производства следует стремиться поддерживать максимальный уровень среднесуточного объема выпуска продукции.

## **7.6. Энергосбережение в промышленности строительных материалов**

На долю строительных организаций в структуре прямых обобщенных затрат приходится 67,6 тыс. т у. т., или 3,9 % от общего потребления энергоресурсов. Основную их часть в системе Министерства архитектуры и строительства потребляют предприятия промышленности строительных материалов (более 90 %).

Производство строительных материалов связано с использованием высоких температур для получения требуемого минералогического состава и структуры материала с высокими физикотехническими свойствами. Например, при варке стекла температура достигает 1500 °С и выше, при обжиге цементного клинкера – 1450 °С, извести – 1100–1200 °С, керамического кирпича – 1000–1100 °С и т. д. Кроме того, для эффективного проведения технологического процесса и протекания физикохимических реакций формирования структуры требуется предварительное высокодисперсное измельчение компонентов сырьевых смесей, что связано с большими затратами электроэнергии. Это является объективной реальностью. С учетом многотоннажных

масс, перерабатываемых в производстве строительных материалов, становится понятной та большая доля энергоресурсов, используемых в этой промышленности.

Приведенные данные показывают, на что необходимо, в первую очередь, направлять усилия для достижения наибольшей экономии энергоресурсов: цемент, известь, стекло, керамические кирпич и плитка. Это однако не означает, что требования по экономии энергоресурсов по отношению к другим строительным материалам могут быть снижены.

Анализ динамики энергопотребления в производстве строительных материалов за последние пять лет свидетельствует о снижении энергозатрат на единицу продукции, но не принципиально: в цементе – 6–7 %; в стекле – 15; в керамическом кирпиче – 6–11 %. Практически не изменился за этот период расход топлива на изготовление извести и силикатных изделий – кирпича и ячеистого бетона. По всем этим направлениям не могло быть существенного снижения энергозатрат, поскольку в рассматриваемый период технология их производства не менялась. В случае, когда речь идет о сложившейся технологии, экономия энергозатрат связана практически только с уровнем эксплуатации действующего оборудования [18].

Используемые в настоящее время в производстве некоторых видов стройматериалов технические решения и оборудование являются высокоэнергозатратными. В первую очередь, это относится к производству цемента и извести. Безусловно, высокая энергоемкость этих материалов связана с природными свойствами сырья – высокая естественная влажность и низкая прочность, что и предопределило в свое время выбор способа производства. Если влажность сырья при разработке существующих месторождений принципиально не изменяется, то используемые технические решения и оборудование в настоящее время устарели.

В Беларуси цемент производится двумя способами: мокрым – на цементных заводах в Волковыске и Кричеве и сухим – на Белорусском цементном заводе в Костюковичах. В 2006 г. средний расход топлива на тонну клинкера при изготовлении мокрым способом составил 210 кг у. т., сухим – 183,9 кг у. т.

В то же время затраты электрической энергии при сухом способе производства по сравнению с мокрым выше в 1,73 раза (188,7/109). Как следствие, суммарные затраты энергии (топливо + электроэнергия) на цементном заводе в Волковыске несколько ниже, чем на БЦЗ

(в 2006 г. – на 4 кг у. т.), однако затраты на единицу продукции невозобновляемого топлива здесь выше на 18 кг у. т. В целом на долю цемента, как указывалось выше, приходится 37,4 % всего объема энергоносителей, потребляемых в производстве стройматериалов [19].

Анализ уровня производства цемента в республике, эффективности технических решений и используемого оборудования, выполненный на основе изучения мирового опыта, позволил принять обоснованное решение о модернизации цементной промышленности в ближайшие годы.

Вторым направлением экономии невозобновляемых видов топлива является применение топливосодержащих отходов при обжиге цементного клинкера, как это делается в мире, когда используется все, что горит. Таким образом можно замещать основное топливо на 20–40 %. Эти процессы в Беларуси уже начались. На двух цементных заводах в Волковыске и Костюковичах идут работы по подготовке сжигания изношенных шин при обжиге клинкера.

Известь также является одним из самых энергозатратных продуктов. В балансе энергоресурсов в системе Минстройархитектуры на ее долю приходится 10,7 % общего объема потребления. В республике известь производится преимущественно мокрым способом (ОАО «Красносельскстройматериалы», ОАО «Гродненский КСМ»). Сухим способом (ПРУП «Белорусский цементный завод» и ОАО «Березовский КСМ») в 2006 г. получено 20 % от общего объема выпуска [19]. Затраты топлива на тонну извести при изготовлении ее мокрым и сухим способами составили соответственно 304 и 285 кг у. т., т. е. различаются не принципиально. Оба способа являются энергозатратными и требуют существенного улучшения.

С целью снижения расхода топлива УП «НИИСМ» разработана технология производства извести сухим способом с применением аппаратов скоростной термообработки, позволяющих ускорить процессы тепло и массообмена при сушке и обжиге в несколько сот раз. В технологии использован опыт декарбонизации цементносырьевой смеси в ОАО «Кричевцементношифер» и главным образом – опыт эксплуатации Белорусского цементного завода, а также мировой опыт.

Для производства извести применяется сырье (мел) природной (карьерной) влажности. Сушка и помол мела совмещены в одном агрегате – сушилкедробилке. Тонкомолотый сухой мел подается в скоростной обжиговой агрегат, где обжигается на высокоактивную порошковую известь. Колоссально развитая поверхность тонкомолотого



сырья снижает до минимума перепад температуры между газовой фазой и материалом, что исключает пережог извести и не требует высокоогнеупорной футеровки реактора. Степень декарбонизации сырья обеспечивается на уровне 99,0 и более процентов вместо 80–85 при обжиге извести во вращающихся печах. Минимальное количество испаряемой влаги, низкая температура отходящих газов, низкие потери тепла в окружающую среду в связи с герметичностью и хорошей теплоизоляцией неподвижных теплообменников и реактора позволяют получить минимальный расход топлива на единицу продукции в пределах 200 кг у. т. на одну тонну извести второго сорта вместо 320–340 кг по традиционной технологии.

Готовый продукт представляет собой тонкомолотую высокореакционноспособную известь, применение которой позволит упростить технологию на силикатных заводах, так как отпадает необходимость помола и снижаются затраты электроэнергии. Данная технология внедрена в 2009 г. в ОАО «Красносельскстройматериалы».

При среднем расходе топлива на производство кирпича в 2006 г. составило 204,4 кг у. т. на тысячу штук условного кирпича наилучший результат достигнут на ОАО «Керамин» – 145,4 кг у. т. Обжиг кирпича на данном предприятии производится в туннельной печи с газонепроницаемым корпусом, что способствует значительному снижению расхода топлива. Кроме того, здесь выпускают кирпич с пустотностью 42 %. Эти факторы обеспечили снижение затрат топлива по сравнению со средним по отрасли уровнем на 40 %. Крупнейший же производитель керамического кирпича в системе Минстройархитектуры ОАО «Керамика» (40 % общего объема производства в 2006 г.) имеет самые высокие затраты – 243,2 кг у. т. на тысячу штук условного кирпича. На остальных предприятиях Минстройархитектуры, использующих печи с газонепроницаемым корпусом, топливные затраты ниже среднего по отрасли уровня, за исключением Горынского КСМ, что связано не с печным агрегатом, а с уровнем хозяйствования [19].

Анализ энергопотребления в производстве керамического кирпича показывает, что снижение затрат топлива на его выпуск возможно по нескольким направлениям. Прежде всего – это организация массового производства поризованной пустотелой керамики, что позволит снизить затраты топлива на 15 %.

В 2005 г. в ОАО «Радосковичский керамический завод» освоено производство эффективных пустотелых керамических блоков с

поризованным черепком, теплопроводность которых приближается к ячеистому бетону. В 2006 г. начата реализация программы расширения производства пустотелой поризованной стеновой керамики, предусматривающей организацию ее выпуска на Минском заводе строительных материалов, Обольском керамическом заводе и в акционерном обществе «Керамика» в Витебске.

Второе направление – повышение пустотности, что снижает материалоемкость и соответственно затраты топлива на обжиг. И третье – реконструкция туннельных печей с устройством газонепроницаемых корпусов на всех предприятиях.

В соответствии с отраслевой нацнотехнической программой «Модернизация стекловаренных печей предприятий Республики Беларусь» выполняются работы по модернизации и тепловой изоляции стекловаренных печей в период проведения холодных ремонтов. Они включают изменение конструктивных элементов печи; установку устройств по интенсификации технологических процессов; тепловую изоляцию кладки стен печей с использованием огнеупорных теплоизоляционных материалов. При тепловой изоляции суммарные потери тепла через ограждающие поверхности уменьшаются в среднем в 2,5–3 раза, тепловой КПД стекловаренных печей различной производительности увеличивается на 30–40 %. Это дает возможность сократить расход топлива на 15–20 %. В настоящее время модернизировано 2/3 эксплуатируемых стекловаренных печей, что позволило сэкономить 72 тыс. т у. т.

В настоящее время в качестве основного вида альтернативного топлива в производстве строительных материалов в Беларуси рассматривается каменный уголь. Уголь является невозобновляемым видом топлива, который импортируется так же, как и газ. Использование угля не снижает удельные расходы условного топлива, но на данном этапе уменьшает общие затраты на производство единицы продукции. Однако применять уголь из-за присущей ему зольности в производстве прежде всего всех видов лицевых изделий – лицевого кирпича, плитки, строительного стекла, сортовой посуды, фарфоро-фаянсовых и сантехнических изделий – нельзя. Весьма проблематичным является применение угля при изготовлении извести, так как в данном случае в ней будет снижаться содержание свободной СаО приблизительно на 6–7 %, а значит, и качество [19].

В производстве же цемента использование угля не вызывает никаких отрицательных последствий для качества продукции, поскольку зола является компонентом цементносырьевой смеси. С учетом данного обстоятельства, а также доли затрат топлива, расходуемой на

выпуск цемента, основные усилия в настоящее время направлены на перевод технологического оборудования цементной отрасли на каменный уголь.

В табл. 7.4 и 7.5 приведены удельные расходы топлива, тепловой энергии и электрической энергии на некоторые виды продукции предприятий строительной промышленности.

Наиболее энергоемкими являются процессы производства цемента, кирпича и стекла, которые в сумме потребляют около 80 % топлива всей отрасли. Поэтому эффективное использование и экономия ТЭР на этих предприятиях позволят существенно снизить энергопотребление всей отрасли.

Цементные заводы расходуют примерно 60 % топлива и 50 % электроэнергии всей отрасли.

Таблица 7.4

**Удельный расход топлива и теплоэнергии на выпуск продукции  
предприятий стройматериалов**

<b>Вид продукции</b>	<b>Удельный расход топлива, кг у. т./ед. продукции</b>	<b>Удельный расход теплоэнергии, МДж/ед. продукции</b>
Кирпич керамический, 1000 шт.	248,9	—
Железобетонные конструкции и детали, м <sup>3</sup>	—	1930
Известь строительная, т	191,9	—
Трубы керамические дренажные, км	541,1	—
Стекло листовое, т	499,9	—
Стеклоизделия, т	746,6	—
Вата минеральная, м	34,9	426
Материалы мягкие кровельные, тыс. м	71	2878
Плитка керамическая, м	7,9	—
Кирпич силикатный, тыс. шт.	—	1764
Трубы керамические канализационные, т	275,3	—
Керамзит, м	85,3	160
Перлит, м	182	1470
Пиломатериалы, м	—	2119
Линолеум, тыс. м	—	31820

Мягкая кровля, м	–	3027
Шифер, 1000 усл. плиток	–	1118

Таблица 7.5

**Удельный расход электроэнергии на производство некоторой продукции  
предприятий стройматериалов**

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/ед. продукции		
	По различным источникам информации		
Цемент, т	130	902–130	105–135
Шлакопортландцемент	75–95	–	75–95
Глиоземистый цемент	1500	–	–
Стекло: листовое, т	97,6	70–100	–
Триплекс, м	10	–	–
Сталинит плоский, м	14	–	–
Сталинит гнутый, м	48,5	–	–
Стекло витринное полированное, м	6,7	–	–
Стекло закаленное, м	11,2	–	–
Облицовочная плитка, м	35,2	–	–
Зеркала, м	12	–	–
Кирпич:			
красный, 1000 шт.	76,1	70–80	60–80
силикатный, 1000 шт.	25–39	30–60	30
Шифер, 1000 усл. плиток	44–56	40–60	40–60
Лесопиломатериалы, м	10–24	20–25	15–20
Древесноволокнистые плиты, м	1,7–2,4	1,5–2,5	–
Древесностружечные плиты, м	51–180	60–120	–
Фанера клееная, м	66–102	–	–
Минеральная вата, м	63,9	–	65
Асбоцементные трубы, усл. км	1414–1680	1400–1700	–
Кирпич шлаковый, 1000 шт.	43,5	–	–
Мягкая кровля, 1000 м <sup>2</sup>	194–210	–	–
Строительный фаянс, т	316,2	–	–
Облицовочные плиты и блоки, м	19,9	–	–
Метлахские плиты, м	2,3	–	–
Бетон и раствор, м	4–5	–	–
Арматура, т	21–24	25–35	–
Армобетонные плиты с пропаркой, м	16–19	–	–
Пенобетон с пропаркой, м	14–16	–	–

Основные направления по экономии ТЭР на этих заводах следующие:

1. Увеличение доли производства цемента сухим способом. В настоящее время производство цемента осуществляется мокрым (около 80 %) и сухим (около 20 %) способами, различающимися методами приготовления шихты, которая поступает на обжиг при мокром способе в виде шлама, а при сухом – в виде гранулированной массы или полностью высушенного порошка. При сухом способе удельный расход топлива на обжиг клинкера ниже на 40–50 %.

2. Получение клинкера по низкотемпературной солевой технологии; интенсификация процесса обжига клинкера за счет оснащения цементных печей эффективными теплообменными и горелочными устройствами; автоматизация систем горения топлива.

3. Увеличение доли золы тепловых электростанций в производстве цемента до 50 % (позволяет снизить расход топлива на 15–20 %).

4. Своевременный вывод из эксплуатации или модернизация морально и физически изношенного малопроизводительного оборудования.

## **7.7. Энергосбережение в текстильной и легкой промышленности**

К предприятиям текстильной промышленности относятся прядильные и ткацкие фабрики хлопчатобумажных, суконных и искусственных тканей, к предприятиям легкой промышленности – обувные, галантерейные, меховые фабрики [17].

Мощности электроприемников на этих предприятиях не превышают 20 кВт, часто применяются микродвигатели мощностью до 50 Вт.

Предприятия текстильной и легкой промышленности относятся к группе энергоемких производств. Работа по энергосбережению на предприятии должна быть плановой и постоянной. Программа организации такой работы базируется на принципах экономики, управления, политики, экологии, технического уровня развития и требования рынка.

К основным теплоносителям данной промышленности относятся следующие вещества:

- Вода – широко используется в качестве теплоносителя. К преимуществам воды как теплоносителя следует отнести ее высокую плотность, относительно высокую удельную теплоемкость, сравнительно низкую вязкость, высокие значения коэффициента теплоотдачи, низкую химическую активность, нетоксичность, относительно

низкую стоимость и доступность, возможность регулирования уровня температуры. Недостатком воды является ограниченный верхний уровень температуры.

- *Водяной пар* – самый распространенный теплоноситель для производственных целей. Его преимуществами являются высокая теплота парообразования, высокие значения коэффициента теплоотдачи при кипении воды и при конденсации пара, возможность поддержания постоянного режима теплоиспользующего оборудования благодаря постоянству температуры при конденсации, нетоксичность, доступность. Водяной пар имеет сравнительно невысокую вязкость и приемлемую плотность.

- *Топочные газы* – используют в качестве греющего теплоносителя в большинстве случаев на месте их получения для непосредственного нагревания материалов, качество которых не зависит от загрязнения продуктами сгорания. Преимуществом топочных газов является возможность их получения непосредственно у аппаратов, теплоснабжения которых они обеспечивают.

- *Горячий воздух* – в технологии швейного производства используется для сушки материалов, где он служит для доставки теплоты к материалу и транспортирования из сушильной камеры испарившейся влаги. К преимуществам горячего воздуха относят его нетоксичность и доступность. Недостатками воздуха как теплоносителя являются низкие плотность и удельная теплоемкость, низкие значения коэффициента теплоотдачи.

Технология швейного производства связана с использованием технологического пара и сжатого воздуха. Для получения пара используются паровые двухбарабанные водотрубные котлы, работающие на газе, мазуте и угле. Котлы предназначены для получения водяного пара. Горячую воду получают в водогрейных котлах, оснащенных дымососом и вентилятором. Для получения сжатого воздуха используют поршневые компрессоры с избыточным давлением. Подогрев воздуха осуществляют в калориферах.

К непроизводственным расходам тепла относятся:

1. Затраты тепла на вентиляцию и кондиционирование воздуха.
2. Затраты тепла на восполнение потерь тепла при транспортировке теплоносителей, разогрев трубопроводов после длительных остановов, разогрев оборудования после ремонтов и непредвиденных остановов и на холостой ход машины.
3. Расход на бытовые нужды.

В табл. 7.6 приведен удельный расход электрической энергии на некоторые виды продукции текстильной и легкой промышленности, а в табл. 7.7 – энергосберегающие мероприятия, способствующие экономии тепловой энергии.

Таблица 7.6

**Удельный расход электроэнергии на производство некоторых видов продукции текстильной и легкой промышленности**

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/ед. прод.
Ткани, 1000 м <sup>2</sup> :	
хлопчатобумажные	1018
льняные	1039
шерстяные	2394
шелковые	1292
Трикотажные изделия, 1000 шт.	248–365
Льноволокно, т	453–550
Отделка окрашенных тканей, т	302
Пошив мешков, 1000 шт.	52
Фарфоровые изделия, т	8900–9400
Обувь кожаная, 1000 пар	525–781
Резина подошвенная, т	334–359
Клеенки, 1000 м	340–350
Плащевые материалы, 1000 м	240–260
Кожа искусственная, 1000 м	440–480
Пленочные материалы, 1000 м	440–475

Основные направления снижения потребления энергоресурсов на предприятиях отрасли:

– усовершенствование и внедрение прогрессивных менее энергоемких технологических процессов и ввод более производительного оборудования, в частности, освоение и внедрение совмещенных технологических процессов и малогабаритного экономичного оборудования;

– освоение и внедрение в производство прядильных самокру-



точных машин для шерстяной пряжи, усовершенствование отделки тканей;

- повышение эффективности использования электроэнергии путем оптимизации загрузки механизмов, сокращения холостых ходов и снижения потерь;
- автоматизация технологических процессов и систем учета расхода ТЭР;
- использование безлюдной технологии.

Таблица 7.7

**Рекомендуемые энергосберегающие мероприятия  
для предприятий легкой промышленности**

Энергосберегающее мероприятие	Возможная экономия тепловой энергии
Внедрение отварки при белении хлопчатобумажных тканей с повышенной концентрацией метилсиликата натрия	28 Гкал/млн м ткани
Интенсификация отварки ткани в варочных котлах за счет введения в варочный состав 0,1–0,2 г/л антрихинона	20–30 Гкал/млн м ткани
Применение пигментов при печатании тканей	290 Гкал/млн м ткани
Использование при печати тканей пигментов, загущенных пенными составами	20 Гкал/млн м ткани
Внедрение низкомодульной и пенной технологии нанесения несмываемых покрытий на линиях «ЛАО», «Элтекс» и др.	64 Гкал/млн м ткани
Внедрение однованного способа водоотталкивающей и про-тивоусадочной отделки одежных тканей	80 Гкал/млн м ткани
Внедрение автоматизированного регулирования относительной влажности агента сушки на машинах	Теплоэнергия – 9 %

К наиболее перспективным направлениям снижения удельных расходов электроэнергии в прядильном производстве можно отнести создание и модернизацию технологического оборудования на принципиально новой конструкторской основе, сокращение технологических переходов, применение оптимальных загрузочных параметров работы оборудования, внедрение высокоскоростных пневматических машин, установку высокоэкономичных источников света.

В ткацком производстве экономия электроэнергии связана главным образом с обеспечением ткацких станков электродвигателями с высокими эксплуатационными свойствами.

В красильных и отделочных производствах потребляется большое количество горячей воды, поэтому повышенное внимание следует уделять способам утилизации сбросной теплоты. Экономии электроэнергии можно достичь за счет широкого внедрения совмещенных технологических процессов, использования малоотходных технологий, применения пигментных красителей, а также новых способов термической печати, внедрения инфракрасных нагревателей, регулирования влажности и утилизации теплоты отработанного воздуха в процессах сушки.

Основные мероприятия по предотвращению непроизводительных потерь тепла включают:

- **Утечки теплоносителей.** Необходимо полностью исключить потери пара и горячей воды в трубах, фланцевых соединениях, арматуре и осуществлять регулярный контроль состояния элементов тепловых сетей предприятий.

- **Присосы.** Дверцы и лючки сушильных машин и машин других типов во время работы должны быть плотно закрыты во избежание излишних потерь теплоты. Недопустимо «регулирование» конечного влагосодержания изделий открытием лючков, что довольно часто встречается на практике.

- **Потери тепла с открытой поверхности.** Испарение влаги с открытой поверхности жидкости в аппаратах и с поверхности ткани вызывает потери тепла. Кроме того, испарение влаги в помещении цеха вызывает увеличение нагрузки систем вентиляции и кондиционирования воздуха и, таким образом, приводит к росту энергопотребления.

- **Потери тепла в окружающую среду за счет охлаждения наружной поверхности теплоиспользующего оборудования.** Величина этих потерь тепла зависит от степени и качества изоляции поверхности теплоиспользующих установок, трубопроводов горячей воды и пара. Должен быть организован периодический контроль состояния тепловой изоляции и ремонт в случае необходимости.

- **Потери тепла от пересушки ткани.** Кардинальным решением проблемы предупреждения пересушки является применение надежной системы автоматического поддержания конечного влагосодержания различных материалов.

К основным видам тепловых ВЭР швейной промышленности следует отнести конденсат глухого пара и паровоздушную смесь:

1. Конденсат глухого пара – как вид ВЭР получается при работе

машин и оборудования для влажно-тепловой обработки материала. Конденсат глухого пара имеет высокий энергетический потенциал, высокий коэффициент теплоотдачи, высокую плотность, сравнительно низкую химическую активность. Совокупность всех этих показателей дает возможность утилизировать теплоту конденсата, используя простые теплообменники с небольшой поверхностью теплообмена, а следовательно, и при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

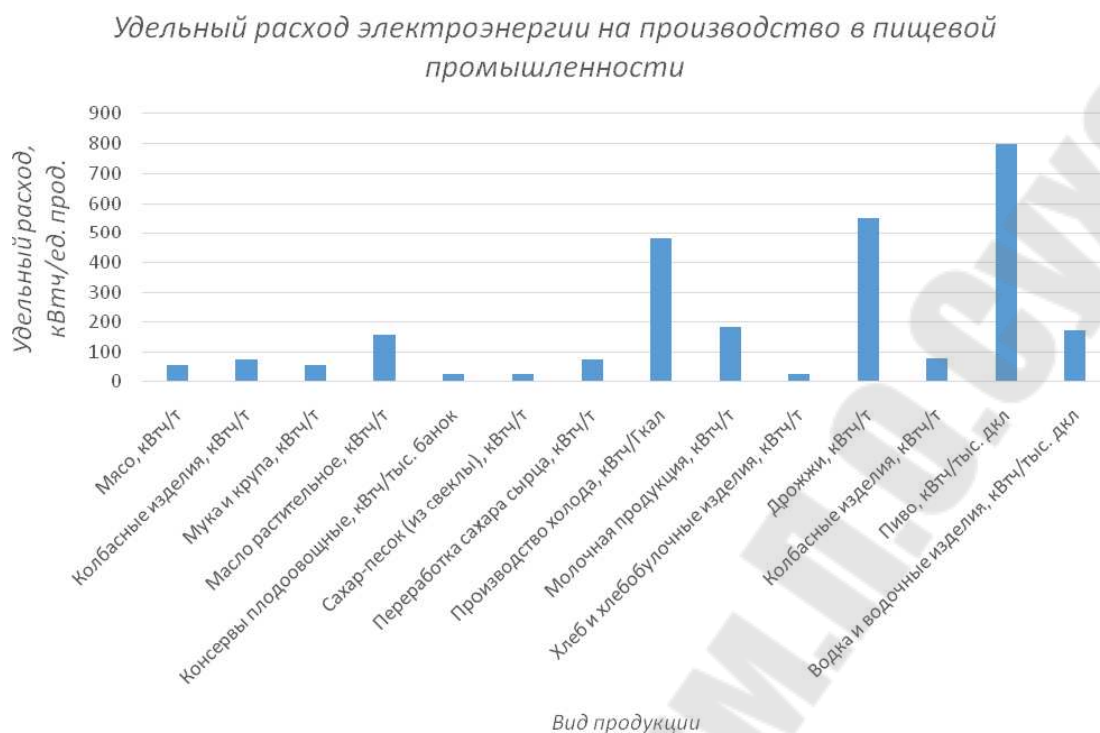
2. Паровоздушная смесь – как вид ВЭР, по показателям качества уступает конденсату пара. Источником отработавшей паровоздушной смеси являются сушильные машины и машины для влажно-тепловой обработки материала. Имеет температуру не ниже 100 °С и значительно большее влагосодержание, чем паровоздушная смесь, выходящая из сушильных машин, что приводит к повышению энтальпии паровоздушной смеси и коэффициента теплоотдачи от нее к поверхности теплообмена.

## **7.8 Энергосбережение в пищевой промышленности**

Задачей пищевой промышленности является переработка многокомпонентного сырья с целью выделения какого-то одного пищевого компонента. При этом основной продукт составляет лишь малую часть исходного сырья, обычно 15–20 %. Остальное – превращается в отходы производства. Но многие такие отходы содержат большое количество полезных веществ и доступны к дополнительной переработке.

Для осуществления своей деятельности предприятия пищевой промышленности потребляют следующие основные виды энергетических ресурсов: электрическую энергию; природный газ на котельной для выработки тепловой энергии; воду.

На рис. 7.4 и в табл. 7.8 приведены удельные расходы электроэнергии на некоторые виды продукции предприятий пищевой промышленности. Основные направления снижения расхода энергоносителей на предприятиях пищевой промышленности показаны в табл. 7.9 и 7.10.



*Рис. 7.4. Удельные расходы электроэнергии на некоторые виды продукции предприятий пищевой промышленности*

*Таблица 7.8*

**Удельные нормы расхода холода, пара, воды  
на выпуск молочной продукции**

Вид продукции	Норма расхода (на 1 т готовой продукции)			
	пара, т/ч			
	Холода, тыс. ккал	На технологические нужды	На вентиляцию	Воды, м³
Творог	3 11	1,65	2,5	6 2
Молоко	3 8	0,7	0,2	1 0
Кефир	6 9	0,3	0,3	1 1
Простокваша в стеклянных бутылках	1 07	0,4	0,3 5	1 2
Сливки	7 6	0,5	0,5	2 9
Сметана	1 13	0,9	0,5	2 3
Молоко сгущенное: с сахаром стерилизованное	3	1,6	0,5	4

	1			
Масло сливочное	3 26	2,6	0,5	5
Сыр	7 50	2,5	3,3	7

Таблица 7.9

**Эффективность различных энергосберегающих мероприятий  
на мясокомбинатах**

<b>Предлагаемое решение</b>	<b>Оценка эффективности</b>
Перегрев воды для мойки полов и оборудования на 1 °С при рекомендованном значении 62–65 °С увеличивает расход тепла	На 1,5–2 %
Увеличение на 1 % коэффициента загрузки оборудования по производительности уменьшает расход тепла на:	
• варку окороков	На 0,83 %
• вытопку жира	На 0,15%
• парку свиней	На 0,31%
Увеличение на 1 % коэффициента загрузки оборудования по времени уменьшает расход тепла на:	
• варку окороков	На 0,36 %
• варку колбасных изделий	На 0,38 %
• вытопку жира	На 0,02 %
Снижение температуры конденсата на 10 °С позволяет уменьшить расход пара на аппарат (рекомендуется температуру конденсата держать ниже температуры насыщенного пара не менее чем на 5 °С)	На 2–2,5 %
Охлаждение регенерируемого воздуха в сушильных аппаратах до 40–45 °С позволяет снизить удельный расход тепла на сушку	На 15–20 %
Интенсификация теплообмена оребрением калориферов в установках сушки с принудительной циркуляцией позволяет экономить тепло	До 10 %
Герметизация сушильных установок (в том числе дверей) позволяет экономить	До 6–8 %
Рациональное использование соковых паров путем их инжекции (многоступенчатые установки) позволяет снизить удельный расход тепла на выпарку	В 2,5–3 раза
Повышение температуры воды на ГС обуславливает перерасход тепла с открытой поверхности (рекомендуемая температура не выше 65–68 °С)	На 4– 5 %
Рациональная компоновка термических камер и агрегатов (зазор до стены и пола более 0,5 м, дополнительная теплоизоляция) позволяет снизить затраты тепла	На 8–10 %
Тепловая изоляция металлических пароварочных камер позволяет экономить тепло	До 20 %

Предлагаемое решение	Оценка эффективности
Закрытие крышками варочных котлов во время работы позволяет уменьшить потери тепла с открытой поверхности	В 5–6 РАЗ
Отсутствие теплоизоляции на арматуре и фасонных частях теплопроводов увеличивает потери в них	На 10–30 %
Замена паровой системы отопления на водяную уменьшает расход тепла на отопление	На 12–16 %
Наличие слоя пыли толщиной 5 мм на нагревательных приборах увеличивает расход тепла	На 5 %
Отсутствие утепления окон и дверей увеличивает расход тепла на отопление	До 60 %

Ключевыми направлениями энергосбережения в пищевой промышленности являются:

- 1) системная перестройка предприятий для производства конкурентоспособной и менее энергоемкой продукции;
- 2) техническое перевооружение и модернизация производств на базе высокотехнологичных ресурсо- и энергосберегающих и экологически чистых технологий;
- 3) модернизация существующих методов энергоснабжения предприятий;
- 4) повышение рентабельности, КПД компрессорных и котельных установок;
- 5) использование второсортных ресурсов и других видов ГСМ, в том числе горючих отходов производств;
- 6) использование источников энергии с высокоэффективными термодинамическими циклами;
- 7) применение высокоэффективных систем горячего водоснабжения, освещения, теплоснабжения и вентиляции;
- 8) модернизация термодинамического оборудования;
- 9) переработка тепла уходящих газов;
- 10) увеличение активности работы котельных путем автоматизации ключевых и вспомогательных операций, оптимизации процессов горения, установки в промышленных котельных турбогенераторов малой мощности;
- 11) снижение финансовых затрат на снабжение теплом зданий и сооружений, горючее теплоснабжение, освещение, вентиляцию воздуха.



Таблица 7.10

**Рекомендуемые энергосберегающие мероприятия  
для предприятий пищевой промышленности**

Энергосберегающее мероприятие	Возможная экономия энергоносителей
<b><i>Хлебопекарная промышленность</i></b>	
Установка регуляторов частоты серии FR-F700 MITSUBISHI ELECTRIC на электродвигателях воздуходувок мельзавода	563,5 тыс. кВт · ч
Установка устройства плавного пуска на электродвигатель дробилки на крупозаводе	30,6 тыс. кВт · ч
Замена подпиточного насоса на паровом котле ДКВР-4/13 на энергосберегающий в котельной крупозавода	368,7 тыс. кВт · ч
Перенос бункеров отрубей непосредственно к зданию мельницы (отказ от пневмотранспорта и механизации)	146,9 тыс. кВт · ч
Тепловая изоляция административного здания, лаборатории и сортовой мельницы на мельзаводе	225,43 Гкал
Установка гелиоводоподогревателя для нужд горячего водоснабжения в душевых на реалбазе в межотопительный период	35,7 Гкал
Замена остекления административного здания, лаборатории сортовой мельницы на мельзаводе	80,3 Гкал
<b><i>Пивобезалкогольное производство</i></b>	
Внедрение сушилок непрерывного действия типа ЛСХА (вместо сушилок периодического действия)	Теплоэнергия – 10–15 %
Внедрение бутылкомоечных машин типа АММ-12 (вместо машин АМЕ-3М)	Теплоэнергия в 1,5–2 раза
Интенсификация процесса приготовления пивного сусла (кипячение под давлением)	Топливо – 14 т. у. т. / млн дкл
<b><i>Масложировая промышленность</i></b>	
Внедрение новых сушилок для сушки семян – газовых рециркуляционных, шахматных, с направляющим кипящим слоем	Топливо – 15–20 %
Внедрение линий прямой экстракции масла	2500 т у. т. / год
Внедрение линий дезодорации на высокопроизводительных установках с тарельчатыми дезодораторами 100–150 т/сут.	800 т у. т. / год
<b><i>Спиртовая отрасль</i></b>	

Внедрение непрерывной тепловой обработки крахмалистого сырья	190 т у. т. / год
Внедрение закрытого обогрева колонн брагоректификационных установок (БРУ)	150 т у. т. / год
Внедрение БРУ, работающих под вакуумом	1550 т у. т. / год
Внедрение технологии сбраживания высококонцентрированного сусла	260 т у. т. / год

Как следует из выше приведенных материалов, потенциальные возможности энергосбережения на предприятиях сходны, несмотря на различия в конструкциях промышленных установок и способах их эксплуатации. Повышение энергоэффективности возможно за счет внедрения энергосберегающих мероприятий и разработки нормативно-правовой базы, так как основными причинами нерационального использования топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях является неполная загрузка оборудования, неплановые простои в технологическом процессе, нерациональное использование осветительных приборов, плохая организация труда, использование в работе устаревших технологий и оборудования, и другие причины.

Поэтому для реализации энергосберегающих мероприятий работы по энергосбережению следует вести в следующих направлениях:

1. Регулярные энергетические обследования предприятий (энергоаудит).
2. Организация учета потребления энергоресурсов.
3. Повышение уровня эксплуатации и технического обслуживания оборудования (организационные работы).
4. Модернизация оборудования и технологических процессов (малозатратные работы).

Замена существующего оборудования на новое, менее энергоемкое, и внедрение новых технологий.

Последовательность, в которой расположены эти виды работ, соответствует существующим законодательным требованиям и определяется возрастанием требуемых объемов инвестиций и сроков реализации этих мероприятий.

Устойчивое развитие современных пищевых предприятий в Беларуси невозможно без внедрения высокотехнологичных и энергоэффективных производственных процессов. Такая задача должна рассматриваться для пищевых производств с учетом реализации различных уровней ресурсо- и энергосбережения.

Одним из действенных внутренних факторов повышения эффективности использования ТЭР на предприятии является также *совершенствование системы экономического стимулирования*.

Стимулирование – это побуждение работников предприятия к повышению эффективности энергопотребления посредством материального поощрения [9].

Основными условиями материального стимулирования за экономное использование энергоресурсов должны быть:

- разработка системы показателей по экономии ТЭР в соответствии со спецификой производства;
- разработка и утверждение научно и технически обоснованных норм расхода энергоресурсов;
- организация учета и контроля за расходом ТЭР;
- увязка и соизмерение экономии с размером премии.

Согласно нормативным документам, премирование работников предприятия за экономное использование ТЭР производится ежеквартально в зависимости от результатов работы.

Анализ положений по премированию персонала за экономию ТЭР и трудов ученых показал, что в настоящее время на предприятиях применяется коллективное премирование за экономию ТЭР без учета индивидуального трудового вклада каждого работника и всего коллектива [10].

Таким образом, распределение премии за экономию ТЭР между структурными подразделениями и внутри них между работниками наиболее целесообразно производить пропорционально их фактическому трудовому вкладу.

Фактический трудовой вклад в экономию ТЭР структурного подразделения и работника устанавливается по конкретным результатам работы за отчетный период.

Величина трудового вклада зависит:

- по функциональным отделам и группам персонала – от выполнения в отчетном периоде основных функций, которые оказывают влияние на экономное использование ТЭР [11, 12];
- по цехам – от достигнутого за отчетный период уровня технико-экономических показателей, на которые персонал цеха оказывает непосредственное влияние.

Важнейшим и малоисследованным вопросом в теории экономического стимулирования является вопрос о размерах премиального фонда, выделяемого подразделению за экономию топливно-энергетических ресурсов, так как при выявлении трудового вклада приходится сравнивать подразделения, которые характеризуются различными показателями.

Экономически обоснованным в данном направлении является использование матричного метода измерения результативности работы. Он позволяет свести воедино показатели таким образом, чтобы результаты работы измерить одним числом. Это способствует логичному и объективному распределению поощрения между структурными подразделениями на основе измеренного результата.

В основу этого метода положена матрица результативности [13, табл. 3.5], которая включает следующие элементы:

- оценочные показатели;
- фактические значения оценочных показателей, достигнутые подразделением;
- шкалу оценок;
- оценку, устанавливаемую подразделению по каждому оценочному показателю;
- значимость показателя;
- итоговый результативный показатель, устанавливаемый по результатам работы структурного подразделения.

Все элементы матрицы условно можно разделить на постоянные и переменные.

К постоянным относятся количество и перечень оценочных показателей, их значимость, шкала оценки для каждого из подразделений. Они могут изменяться в том случае, если изменяются цели и задачи, стоящие перед подразделением.

К переменным элементам можно отнести фактические значения показателей, достигнутые подразделением за рассматриваемый период времени, оценку, устанавливаемую подразделению, итоговый результативный показатель по результатам работы структурного подразделения.

В зависимости от объекта анализа рекомендуемое количество показателей, используемых в матрице, изменяется, подробный расчет данных показателей приведен [10, 13].

## **7.9. Энергосбережение на транспорте**

Суммарное потребление энергетических ресурсов на транспорте России в 2010 г. составило 175 млн т у. т. [16]. Общий потенциал энергосбережения на транспорте определен в пределах от 40 до 50 млн т у. т. , при этом примерно 70 % составляют моторные топлива и остальные 30 % – электроэнергия.

Огромные масштабы территории России предопределили высокий уровень развития железнодорожного грузового и пассажирского транспорта и значительную долю авиационных перевозок в суммарном объеме транспортных перевозок. Общий уровень обеспеченности пассажирского транспорта автобусами и легковыми автомобилями пока крайне низок и составляет соответственно 2,5–3 и около 120 шт. в расчете на 1000 человек.

Основными направлениями повышения энергетической эффективности транспортной системы являются:

- совершенствование структуры парка транспортных средств;
- снижение удельного расхода топлива транспортными средствами;
- сохранение и дальнейшее развитие городского общественного транспорта;
- строительство новых, отвечающих современным требованиям, и реконструкция существующих автомобильных дорог.

Удельные расходы топлива в автомобильном транспорте в перспективе ближайших 10–15 лет могут быть снижены на 25–40 % за счет улучшения его структуры, развития и совершенствования сети автомобильных дорог, улучшения конструктивных характеристик автомашин, в первую очередь, в связи с применением более совершенных двигателей.

На железнодорожном транспорте можно обеспечить снижение энергоемкости перевозок на 10–25 %. Причем столь значительный диапазон этих показателей обусловлен различием возможных сценариев в отношении масштабов и темпов обновления железнодорожной тяги, развития электрификации железных дорог, расширения станционных путей, замены основных путей, внедрения контейнерных перевозок, увеличения числа и улучшения структуры парка вагонов.

Предусматривается возможность существенного энергосбережения на авиационном транспорте. При этом главными направлениями повышения энергетической эффективности авиационного транспорта считаются оптимизация воздушных линий и увеличение числа рейсов самолетов, совершенствование структуры и конструктивных характеристик самолетного парка.

## **7.10. Перечень типовых мероприятий по энергосбережению**

### **Типовые организационные мероприятия по энергосбережению**

Типовые организационные мероприятия по энергосбережению включают:

- Назначение ответственного лица за обеспечение мероприятий по энергосбережению.
- Обучение в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности персонала, ответственного за обеспечение мероприятий по энергосбережению.
- Материальное стимулирование персонала на энергосбережение.
- Совершенствование порядка работы учреждения и оптимизация работы систем освещения, вентиляции, водоснабжения.
- Введение графиков включения и отключения систем освещения, вентиляции, тепловых завес и пр.
- Нормирование расхода энергоресурсов.
- Назначение лиц, ответственных за контроль включения и отключения систем.
- Организацию работы по эксплуатации светильников, их чистке.
- Проведение разъяснительной работы с учащимися и сотрудниками по вопросам энергосбережения.
- Агитационную работу по вопросам энергосбережения.
- Разработку и введение в действие системы поощрения сотрудников учреждения за действия, направленные на энергосбережение.
- Повышение технических знаний в вопросах энергосбережения отдельных категорий сотрудников учреждений.
- Создание системы энергоменеджмента.

## **Типовые технические мероприятия по энергосбережению**

### **Системы электроснабжения**

К системам электроснабжения относят:

- Установку выключателей нагрузки перед вводами силовых трансформаторов.
- Устранение дефектов коммутационного и электросилового оборудования.
- Замену высоковольтных масляных выключателей на вакуумные.
- Замену устаревших трансформаторов на современные.
- Снижение потерь электроэнергии в кабельных сетях.

- Снижение потерь электроэнергии путем улучшения коэффициента мощности.
- Увеличение коэффициентов загрузки электроприемников и трансформаторных подстанций и ограничение их холостого хода.
- Поддержание номинальных уровней напряжения в сетях.
- Равномерное распределение нагрузок по фазам.
- Оснащение систем электроснабжения системами мониторинга потребления электрической энергии.
- Сокращение числа личных бытовых приборов (кипятильников, кофеварок, электрочайников и пр.).
- Оптимизацию времени использования оргтехники.
- Применение частотного регулирования насосов систем водоснабжения.
- Внедрение энергосберегающих конфорок на кухонных электрических плитах.
- Установку терморегуляторов на системы электрического отопления.

## **Системы освещения**

Система освещения включает:

- Снижение расхода электроэнергии на цели освещения путем реконструкции существующей системы освещения за счет установки энергоэффективных источников света.
- Сокращение области применения светильников с лампами накаливания и их замена на светильники с люминесцентными лампами
- Замену люминесцентных ламп старой модификации на лампы нового поколения меньшей мощности.
- Замену традиционных систем освещения на светодиодные.
- Замену электромагнитных пускорегулирующих устройств у люминесцентных ламп на более надежные и экономичные электронные.
- Окраску стен помещений в более светлые тона.
- Децентрализацию включения освещения за счет установки нескольких выключателей и деления площади освещения на необходимые зоны.

## **Системы отопления**

К системе отопления относятся:

- Составление руководств по эксплуатации, управлению и об-



служиванию систем отопления, периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением.

- Оснащение систем отопления приборами учета.
- Гидравлическая наладка внутренней системы отопления.
- Ежегодная химическая очистка внутренних поверхностей нагрева системы отопления и теплообменных аппаратов.
- Автоматизация систем теплоснабжения зданий путем установки индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) с регулированием подачи теплоты.
- Снятие декоративных ограждений с радиаторов отопления.
- Установка теплоотражателей за радиаторами отопления.
- Установка запорных термостатических вентилей на радиаторах отопления.
- Замена однотрубной системы отопления на двухтрубную.
- Установка тепловых завес.

## **Системы горячего водоснабжения**

Системы горячего водоснабжения включают:

- Составление руководств по эксплуатации, управлению и обслуживанию систем горячего водоснабжения, периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением.
- Автоматизацию регулирования системы ГВС.
- Обеспечение рециркуляции воды в системе ГВС.
- Снижение потребления за счет оптимизации расходов и регулирования температуры.
- Оснащение систем горячего водоснабжения счетчиками расхода горячей воды.
- Снижение тепловых потерь при транспортировке по трубам через изоляцию.
- Внедрение теплоизоляции труб на основе сверхтонкого теплоизоляционного покрытия.
- Применение экономичной водоразборной арматуры.
- Сокращение расходов и потерь воды.

## **Потребление воды**

Потребление воды связано со следующим:

- Заменой изношенных стальных трубопроводов водоснабжения.
- Внедрением систем обратного водоснабжения.
- Внедрением систем водоподготовки.
- Применением экономичной водоразборной арматуры.
- Сокращением расходов и потерь воды.

## **Рекуперация тепла**

Рекуперация тепла включает:

- Внедрение рекуперации тепла в здании.
- Повышение энергоэффективности сушильных установок.

## **Системы вентиляции**

К системам вентиляции относятся:

- Оптимизация работы вентиляционных систем.
- Отключение вентиляционных установок во время обеденных перерывов и в нерабочее время.
- Применение блокировки вентилятора воздушных завес с механизмами открывания дверей.
- Замена устаревших вентиляторов с низким КПД на современные с более высоким КПД.
- Замена устаревших приводов вентиляционных установок с низким КПД на современные – с более высоким КПД.
- Применение частотного регулирования скорости вращения.
- Применение устройств автоматического регулирования и управления вентиляционными установками в зависимости от температуры наружного воздуха (в том числе с использованием ЧРП).

## **Системы кондиционирования.**

Системы кондиционирования связаны со следующим:

- Включением кондиционера только при необходимости.
- Исключением перегрева и переохлаждения воздуха в помещениях.
- Поддержанием в рабочем состоянии регуляторов, поверхностей теплообменников и оборудования.

## **Насосные установки**

Насосные установки включают:

- Модернизацию насосных агрегатов.
- Модернизацию электропривода насоса.
- Стабилизацию давления в гидравлических системах.

## **Системы сжатого воздуха**

К системам сжатого воздуха относятся:

- Внедрение автоматизированной системы управления процессом производства сжатого воздуха.
- Децентрализация воздухообеспечения.
- Внедрение установки осушки сжатого воздуха на компрессорной станции.

## **Электротехническое оборудование**

Электротехническое оборудование включает следующее:

- Внедрение сварочных инверторов с микропроцессорными схемами управления.
- Минимизацию потерь электроэнергии в сварочном оборудовании при обрыве дуги.
- Модернизацию выпрямительных агрегатов гальванического участка.
- Внедрение установок высокотемпературного нагрева шихты.

## **Строительные и ограждающие конструкции здания**

Строительные и ограждающие конструкции здания связаны со следующим:

- Снижением тепловых потерь тепла через оконные проемы путем установки третьего стекла или пленки ПВХ в межрамном пространстве окон.
- Снижением тепловых потерь тепла через оконные проемы путем установки низкоэмиссионных теплоотражающих пленок на оконные стекла.
- Дополнительным остеклением сотовым поликарбонатом.

- Улучшением тепловой изоляции фасадов, перекрытий, стен, полов и чердаков, кровли и т. п.
- Снижением тепловых потерь тепла путем заделки межпанельных и компенсационных швов.
- Гидрофобизацией стен (гидрофобное покрытие стен).

## **Котельные и тепловые электростанции**

Котельные и тепловые электростанции включают:

- Составление руководств и режимных карт эксплуатации, управления и обслуживания оборудования и периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением.
- Поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха и хорошего смешивания его с топливом.
- Установку водяного поверхностного экономайзера за котлом.
- Применение за котлоагрегатами установок глубокой утилизации тепла, установок использования скрытой теплоты парообразования уходящих дымовых газов (контактный теплообменник).
- Повышение температуры питательной воды на входе в барабан котла.
- Подогрев питательной воды в водяном экономайзере.
- Содержание в чистоте наружных и внутренних поверхностей нагрева котла.
- Очистку от накипи внутренних поверхностей котла нагрева котлов ультразвуковым методом
- Использование тепловыделений от котлов путем забора теплого воздуха из верхней зоны котельного зала и подачи его во всасывающую линию дутьевого вентилятора
- Теплоизоляцию наружных и внутренних поверхностей котлов и теплопроводов, уплотнение клапанов и тракта котлов (температура на поверхности обмуровки не должна превышать 55 ° С)
- Установку систем учета расходов топлива, электроэнергии, воды и отпуска тепла.
- Автоматизацию управления работой котельной.
- Применение частотного привода для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов и дымососов
- Перевод паровых котлов в водогрейный режим
- Перевод паровой системы отопления на водяную

- Рациональную загрузку одновременно работающих котлов
- Установку когенерационной установки (мини-ТЭЦ)
- Установку системы возврата конденсата
- Установку расширителя непрерывной продувки и подогревателя сырой воды
- Восстановление обмуровки котлов.

## **Транспортные средства**

К транспортным средствам относятся:

- Перевод автомобиля с бензина на газ.
- Поддержание равномерного давления воздуха в шинах.

## **Учет энергоресурсов**

Учет энергоресурсов включает следующее:

- Внедрение автоматизированных информационно-измерительных систем (АИИС) учета тепло- и электроэнергии.
- Модернизацию и расширение системы обмена технологической информацией (СОТИ).
- Создание центра сбора и обработки данных (ЦСОД).

## **Литература**

1. Бубнов, В. П. Основы энергосбережения: теория и практика : учеб. пособие / В. П. Бубнов, Н. В. Грунтович, А. А. Лапко – Минск, 2012.
2. Тараканова, А. И. Энергоэффективность в химической промышленности и нефтепереработке / А. И. Тараканова. – 517 с.
3. URL: <http://energobest18.ru/news/russia/1658-what-solutionshell-p-oil-companies-to-save-energy-and-money.html>.
4. Данилов, Н. И. Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 564 с.
5. Лазуткина, Н. А. Активные формы энергосбережения в машиностроении / Н. А. Лазуткина // Научное обозрение. Технические науки. – 2014. – № 1. – С. 226–226.
6. Борисов, В. Н. Ресурсосбережение в машиностроении / В. Н. Борисов // Отрасли и межотраслевые комплексы / ИПП РАН. – 2015. – С. 169–174.

7. Положение по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве Республики : Постановление Ком. по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь. – Минск, 2002.

8. Энергосберегающие технологии в СССР и за рубежом / под. ред. С. Н. Ятрова. – 1-е изд. – М., 1990. – 351 с.

9. Романькова, Т. В. Энергоэффективность предприятия: показатели, факторы и механизм повышения : монография / Т. В. Романькова. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2013. – 148 с.

10. Похабов, В. И. Энергетический менеджмент на промышленных предприятиях / В. И. Похабов, В. Л. Клевзович, В. В. Ворфоломеев. – Минск : Технопринт, 2002. – 176 с.

11. Тимофеев, А. В. Совершенствование материального стимулирования персонала энергокомпаний за экономию топлива и материалов / А. В. Тимофеев // Менеджмент в России и за рубежом. – 2009. – № 6. – С. 92.

12. Троицкий, А. А. Энергоэффективность как составляющая инновационного развития / А. А. Троицкий // Инновации в электроэнергетике. – 2009. – № 2. – С. 4–8.

13. Матричный метод измерения результативности как инструмент мотивации персонала / HR-Лига – Сообщество кадровиков и специалистов по управлению персоналом. – 2010. – URL: <http://www.hrliga.com> (дата обращения: 14.01.2010).

14. Лисиенко В. Г. Хрестоматия энергосбережения / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплотехник, 2005. – Кн. 2 – 760 с.

15. Данилов, Н. И. Энергосбережение в металлургии / Н. И. Данилов // 300 лет металлургии Урала : тез. докл. Междунар. конгресса, Каменец-Уральский, 2001 г. / СУАЛ Холдинг. КУМЗ. – Каменец-Уральский, 2001. – С. 1–3.

16. Батищев, В. Е. Энергосбережение : справ. пособие / Б. Г. Мартыненко, С. Л. Сысков, Я. М. Щелков // Екатеринбург : Энерго-ПРЕСС, 1999. – 304 с.

17. Вагин, Б. Я. Экономия энергии в промышленности / Б. Я. Вагин, А. Б. Лоскутов. – Н. Новгород : НГТУ, 1998. – 220 с.

18. Малец, В. Проблемы энергосбережения в производстве строительных материалов, энергоэффективность и энергосбережение / В. Малец, Е. Подлuzский. – 2007.

19. URL: <https://cyberpedia.su/12x6d19.html>.

Учебное электронное издание комбинированного распространения

# **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Пособие**

**для магистрантов специальностей**

**1-43 80 01 «Электроэнергетика и электроника»**

**и 1-43 80 03 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

**дневной и заочной форм обучения**

**Составители: Грунтович Надежда Владимировна  
Жуковец Светлана Григорьевна**

Редактор  
Компьютерная верстка

*Т. Н. Мисюрова  
И. П. Минина*

Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя  
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.  
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель