Библиотека СОК

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»

Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков

Основы энергосбережения

Учебник

Под общей редакцией профессора,
доктора экономических наук Н.И. Данилова

Допущено учебно-методическим объединением по профессионально-педагогическому образованию в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 030500.19 – Профессиональное обучение (электроэнергетика, электротехника и электротехнологии)

Екатеринбург
2006

УДК 658.26 (075.8)
ББК 31.19 я 73
Д 18

Рецензенты:
кафедра «Автоматизированные системы электроснабжения» Российского государственного профессионально-педагогического университета;
член-кор. РАН Л.А. Смирнов

Авторы: Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков
Д 18 Основы энергосбережения: учебник / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков; под ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 564 с.

ISBN 5-321-00657-1

Энергосбережение – новая учебная дисциплина в практике отечественного образования, определяющая комплекс правовых, организационных, научных, производственных, технических, информационных и экономических мер, реализация которых направлена на эффективное использование энергетических ресурсов и вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

На основе обобщения работ отечественных и зарубежных ученых и специалистов, а также исследований авторов в учебнике изложены основные положения энергосбережения как учебной дисциплины.

Учебное издание адресовано студентам профессионально-педагогических специальностей, слушателям факультетов повышения квалификации. Книга будет полезна студентам инженерно-технических вузов, а также учащимся средних профессиональных и общеобразовательных учреждений.
Библиогр.: 75 назв. Табл. 63. Рис. 108

ISBN 5-321-00657-1

© ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ», 2006
© Н.И.Данилов, Я.М. Щелоков, 2006

Оглавление

Введение…….. 6
1. Энергия
1.1. Энергетические эпохи…….. 9
1.2. Определение понятия «энергия»……. 13
1.3. Виды энергии…… 16
1.4. Первичная энергия……... 19
1.5. Параметры процесса горения топлива……... 28
1.6. Производная энергия……... 33
1.7. Технологические схемы производства энергии…… 38
Контрольные вопросы……..... 42
2. Энергоресурсы
2.1. Виды энергоресурсов……... 43
2.2. Темпы потребления энергоресурсов…….. 45
2.3. Закономерности потребления энергии……... 48
2.4. Энергия и окружающая природная среда…….. 54
Контрольные вопросы……..... 63
3. Устойчивое развитие
3.1. Учение В.И. Вернадского о биосфере……..... 64
3.2. Особенности устойчивого развития…… 66
3.3. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию…….. 69
Контрольные вопросы……..... 72
4. Эффективность использования энергии
4.1. Энтропийный капкан…… 73
4.2. Виды потерь энергии…… 75
4.3. Некоторые особенности энергопотребления в России……. 83
Контрольные вопросы…….. 88
5. Научные основы и потенциал энергосбережения
5.1. Энергетические законы, закономерности, правила…….. 89
5.2. Научное обоснование энергосбережения…….. 98
5.3. Потенциал энергосбережения……. 109
Контрольные вопросы……. 114
6. Правовое обеспечение энергосбережения
6.1. Мировая практика нормирования энергосбережения……... 115
6.2. Федеральная нормативная база в России……... 117
6.3. Региональная нормативная база в России……..... 133
6.4. Региональная система управления энергосбережением……... 137
Контрольные вопросы……..... 148

7. Энергосберегающие возможности современных электротехнологий

7.1. Экономическое обоснование применения электротехнологий… 149
7.2. Основы применения электротермических процессов……... 155
7.3. Индукционный нагрев……..... 170
7.4. Индукционная плавка……... 181
Контрольные вопросы……..... 189

8. Системы и узлы учета расхода энергоресурсов

8.1. Общие положения…… 190
8.2. Общие вопросы учета энергоресурсов……... 194
8.3. Использование средств учета и регулирования расхода энергоресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве…….. 199
8.4. Системы учета энергоресурсов…….. 212
Контрольные вопросы……. 219

9. Энергетические обследования

9.1. Общие положения…… 220
9.2. Основные причины нерационального расхода ТЭР……..... 227
9.3. Организационные вопросы энергетических обследований предприятий…… 236
9.4. Управление спросом на энергию…… 246
Контрольные вопросы……..... 258

10. Вопросы экономики при отоплении помещений

10.1. Применение улучшенной тепловой изоляции……... 259
10.2. Электрические нагреватели с аккумулированием тепла…….. 270
10.3. Тепловые насосы…….. 278
10.4. Системы вентиляции воздуха……..... 286
10.5. Инфракрасная термография…… 290
Контрольные вопросы……..... 292

11. Энергетический паспорт

11.1. Общие сведения…… 293
11.2. Компьютерная версия энергетического паспорта как средство анализа и оптимизации потребления энергоресурсов…… 302
11.3. Энергетический паспорт здания …… 305
Контрольные вопросы……..... 310

12. Светотехника

12.1. Основные понятия и определения…….. 311
12.2. Классификация светильников……..... 312
12.3. Некоторые характеристики осветительных приборов ……. 325
12.4. Система условных обозначений типов осветительных приборов…….. 332
12.5. Основные принципы хорошего внутреннего освещения…….. 334

12.6. Экономика и энергоэффективность внутреннего освещения….. 342
12.7. Методика расчета общего освещения помещений…… 352
12.8. Нормы освещения (основные положения СНиП 23-05-95)..... 362
Контрольные вопросы……..... 370
13. Вторичные энергетические ресурсы
13.1. Терминология…… 371
13.2. Классификация ВЭР……. 372
13.3. Технологические схемы производства энергоносителей за счет использования ВЭР…… 374
13.4. Определение объемов выхода и использования ВЭР…….. 384
13.5. Определение экономии топлива за счет использования ВЭР…. 390
13.6. Принципиальные схемы использования низкопотенциальной теплоты……. 395
13.7. Примеры практической реализации экономии ВЭР……. 399
13.8. Теплоиспользующие аппараты на тепловых трубах…… 409
13.9. Основные итоги…… 418
Контрольные вопросы……. 419
Рекомендуемые темы рефератов…… 419
Обозначения и сокращения……. 420
14. Отраслевое энергосбережение
14.1. Общие данные…….. 421
14.2. Потенциальные возможности отраслевого энергосбережения……... 430
14.3. Энергосбережение на предприятии…… 462
Контрольные вопросы……..... 486
15. Стратегия социально экономического развития региона: энергетическая составляющая
15.1. Схема развития и размещения производительных сил……. 487
15.2. Интегральный энергетический менеджмент региональной экономики…… 495
Контрольные вопросы……..... 507
16. Методические рекомендации по изучению вопросов энергосбережения
16.1. Энергосбережение в повседневной жизни…… 508
16.2. Индикаторы эффективности энергосберегающей деятельности…… 522
16.3. Энергоемкость производства и социально-экономические показатели ряда стран…… 526
17. История энергосбережения в лицах……..... 533
18. Пословицы народов мира…… 543

19. Основные термины и определения……..... 546
Библиографический список…… 559

Введение

Динамика развития экономики конкретной страны, региона формирует результаты постепенных (эволюционных) изменений в обществе и природе. При этом показателем данных изменений является уровень энерговооруженности жизни.

Именно этим непреложным условием развития общества определяется настоятельная необходимость рационального расхода энергии, снижения её удельных затрат во всех сферах человеческой деятельности. Это направление получило название - энергосбережение.

Исходя из определения понятия энергосбережения как комплекса мер, направленных на эффективное использование энергии, возникает требование ограничения возможностей использования материальных ресурсов внешней среды, если речь идет о так называемых *невозобновляемых первичных источниках энергии* в виде органических минеральных горючих.

Вполне понятно стремление многих стран в современных условиях к максимальному использованию, но на новых принципах, возобновляемых источников энергии - ветра, солнца, биомассы и т.д. Использование их позволит уже сегодня решить массу экологических проблем, что создает предпосылки к резервированию для потомков части запасов ископаемых топлив (если при этом их еще и не будут вывозить за рубеж), в том числе и для неэнергетических потребностей: производства химических продуктов, лекарств, всевозможных препаратов.

Один из результатов энергосбережения - прямое снижение в несколько раз затрат на ускорение темпов постоянных поисков источников энергии, их освоения.

Топливно-энергетический комплекс (ТЭК) дает практически до сих пор от трети до половины всех валютных поступлений в страну, что способствовало обеспечению существования общества как в ситуации «за-

стоя» советской эпохи, так и в условиях кризиса и снижения объемов производства. Но все это не может продолжаться сколько угодно долго, поскольку энергоемкость промышленного производства и социальных услуг и так оказалась в несколько раз выше общемировых показателей; это делает нашу жизнь недопустимо энергорасточительной, а нашу продукцию неконкурентоспособной не только на мировом, но и на внутреннем рынке. Судите сами: только менее одной трети добываемых топливно-энергетических ресурсов идет в конечном итоге на обеспечение прямых и косвенных энергетических услуг населению. Еще одна треть сырьевых ресурсов идет на экспорт, а остальная безвозвратно теряется в самой системе энергопоставок, не давая при этом никакого полезного эффекта для конечного потребителя - населения. Особенно сложное положение в регионах, где практически отсутствует топливная промышленность.

Нашему обществу необходима выработка новых принципов соответствия между ростом материального производства, необходимым уровнем энергообеспечения жизни и поддержанием достаточного экологического ресурса (воды, воздуха, почвы). Это направление становится главной задачей обеспечения устойчивого развития общества в соответствии с Концепцией перехода Российской Федерации к устойчивому развитию.

Данные задачи не решить только за счет повышения квалификации специалистов и руководителей энергетических и ряда других смежных специальностей. Здесь требуется участие всех слоев общества. Необходимо понимание обществом следующих условий роста благосостояния населения:

- в любой стране, даже самой богатой энергоресурсами, требуется их рациональное использование, и тем более экспортирование, с целью сохранения запасов топлива для будущих поколений;
- в то же время рост благосостояния населения возможен в условиях увеличения расхода энергии, роста ее душевого потребления.

Для обеспечения роста благосостояния в обществе данные противоречия можно преодолеть только за счет освоения широкими слоями населения основ культуры потребления энергетических ресурсов. Культура эта – в обязательном выполнении ряда энергетических ограничений в своей повседневной жизни. Цель подобных ограничений - повышение энергоэффективности использования наших природных ресурсов в интересах нынешнего и будущих поколений.

Разумеется, масштаб и вид используемых энергоисточников определяется финансовыми возможностями каждого конкретного потребителя, независимо от того, юридическое или физическое это лицо. Однако каждый может и должен научиться управлять снижением спроса на энергию, понять необходимость расходования как можно меньшего количества энергии и использования ее без ущерба своему благосостоянию, т. е. более эффективно.

Оборотной стороной стереотипа, что «Россия – неисчерпаемо богатая страна», стало расточительство всех и во всем. В этих условиях государство попросту не сможет развиваться, даже при устойчивых показателях роста благосостояния большей части населения. Происходит переход к новому типу отношений: все затраты на энергию, товары, услуги будут оплачивать в конечном итоге не их производители, а потребители, т. е. каждый из нас, и по ценам, которые могут постоянно расти.

Одно из направлений формирования нового мышления энергопотребления – это включение в образовательные программы всех уровней курса по энергосбережению. Авторы надеются, что предлагаемое учебное издание будет способствовать формированию определенной системы знаний в области энергосбережения у самого широкого круга читателей.

Авторы благодарят за содействие и помощь в подготовке к изданию рукописи сотрудников кафедры «Энергосбережение», кафедры «Атомная энергетика» УГТУ-УПИ, ОАО «Свердловэнерго», Уральского отделения Российской инженерной академии и др.

1. Энергия

Энергия – общая количественная мера
различных форм движения материи

1.1. Энергетические эпохи

Различные этапы в развитии энергетики определяются господствующими источниками энергии и зависящей от них энерготехникой [1].

Эпоха мускульной энергетики. Источником энергии служила химическая энергия пищи, превращающаяся в мускульную силу человека, а позже и приручennых 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. Последние 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 веков.

Эпоха механоэнергетики. Длилась она до XVIII века. 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.

Эпоха химической теплоэнергетики. Она еще не закончилась. 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. Возникает проблема создания экологически чистых производств. Появляется ядерная энергетика, опять же на невозобновляющихся 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 фантастика, чем объективная реальность. Основные выводы XV конгресса Мирового энергетического совета, состоявшегося в 1992 г.:

• 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 ресурсопользование.

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.

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 пароходостроение, 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 удается 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. Доказательством 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. Определение понятия «энергия»

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 w его движения mw^2. В 1829 г. француз Г. Кориолис уточняет выражение живой силы, поделив его пополам - $mw^2/2$.

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 века по-

лучил 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 (не зависящая от направления, не векторная. – Авторы) ***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). Различалось два вида двигателей. Вечный двигатель первого рода можно определить как воображаемую, непрерывнодействующую 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 том числе 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 физикохимик 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.

1.3. 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, но 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: 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.

Главным источником непосредственно используемых видов энергии служит пока химическая энергия минеральных органических горючих (уголь, нефть, природный газ 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 (ветровая, речной воды и др.).

Практически в любом технологическом процессе используется несколько видов энергии. Топливно-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 $Э_1$ – химическая энергия ископаемого первичного топлива, с учетом энергетических затрат на добычу, подготовку (обогащение), транспортировку и т.д.

2. Производная энергия $Э_2$ – энергия преобразованных энергоносителей, например: пар, горячая вода, электроэнергия, сжатый воздух, кислород, вода и др., с учетом затрат на их преобразование.

3. Скрытая энергия $Э_3$ – 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 (ремонты), 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

$$Э_{сум} = Э_1 + Э_2 + Э_3 – Э_4, \qquad (1.1)$$

где $Э_4$ – энергия вторичных энергоресурсов, которая вырабатывается в процессе производства данной продукции, но передается для использования в другой технологический процесс.

Суммарные энергозатраты называют также технологическим топливным числом (ТТЧ) конкретного вида продукции (стали, кирпича и др.). Среднемировые значения таких чисел приведены в табл. 1.1.

1.4. Первичная энергия

Виды топлива и его состав. Энергетическое топливо по своему физическому составу делится на твердое (кусковое и пылевидное), жидкое и газообразное. Топливо в том виде, в каком оно поступает в котельную, называют рабочим топливом. Оно состоит из следующих элементов: углерода – C, водорода – H, кислорода – O, азота – N, серы – $S_л$, золы – A и влаги – W. Индексом $S_л$ обозначается летучая сера. Остальная сера входит в состав золы топлива. Если выразить в процентах содержание каждого элемента в топливе, то для элементарного состава его рабочей массы будет справедливо равенство

$$C^р + H^р + O^р + N^р + S^р_л + A^р + W^р = 100\ \%. \qquad (1.2)$$

Влага топлива. Влага является вредной (балластной) составляющей состава топлива, уменьшающей его теплоценность. Основная часть этого элемента топлива – внешняя влага, механически удерживаемая наружной поверхностью фракций топлива. Ряд топлив (торф, дрова, солома и т.п.)

Таблица 1.1

Удельные энергоемкости различных материалов: Э, В – удельный расход на производство продукции (соответственно энергии и условного топлива)

Э, МДж/кг	Материалы	В, кг у.т./кг
1000	Теллур Титан	34
880	Ацетилен	30
700 500	Никель	24 17
400	Магний	13,6
300	Акрил (волокно)	10,2
200	Алюминий Нейлон-66 из нефти Кремний Полиэстр (волокно)	6,8
140	Натрий Медь (лист)	4,8
100	Полипропилен Медь (проволока)	3,4
90	Цинк (лист) Резиновые покрышки	3,0
70	Нержавеющая сталь (лист)	2,4
60	Стальной лист (холоднокатаный)	2,1
50	Свинец	1,7
40	Аммиак аммония из нефти Стеклянные изделия	1,36
30	Окись магния	1,02
20	Азотная кислота Чугун	0,68
14	Жидкий азот	0,48
10	Известь (окись кальция)	0,34
7	Цемент	0,24
6	Сера	0,21
5	Кирпич	0,17
4,5	Железобетон	0,15
4	Нефть (перегонка)	0,136

имеют способность активно набирать влагу. Для этих топлив вводится понятие условной влажности. Пересчет массы, например, торфа фактической (натуральной) влажности на условную влажность производится по формуле

$$G_{усл} = G_{факт}(100 - W_{факт})/(100 - W_{усл}), \quad (1.3)$$

где $G_{усл}$, $G_{факт}$, – соответственно массы топлива при условной и фактической влажности, т; $W_{усл}$, $W_{факт}$ – соответственно условная и натуральная влажность топлива, в %.

Следует обратить внимание на одну особенность при учете дров. В статистической отчетности они учитываются в плотных кубических метрах. Если по каким-то причинам масса дров приведена в складских кубометрах, то необходимо сделать их пересчет в плотные путем умножения количества складских кубометров на коэффициент 0,7.

Зола топлива. Это также балластная часть. Наибольшее количество (золы или минеральных) примесей содержится в твердых топливах. Это глины ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), свободный кремнезем ($SiO_2$), карбонаты ($CaCO_3$, $MgCO_3$ и $FeCO_3$), сульфаты ($CaSO_4$ и $MgSO_4$) и т.д.

Минеральные примеси в жидких топливах (различные соли и окислы) содержатся в небольших количествах (до 1,0 %).В газовых искусственных топливах минеральные примеси содержатся в долях процента и определяются технологией производства газа.

Содержание в топливе «внешнего баланса» ($A + W$) зависит не только от природы топлива, но и от внешних условий (способа добычи, наличия фазы обогащения, хранения, транспортирования).

Для твердых топлив различают *истинную, объемную и насыпную* плотность (первая - в объеме плотной массы без пор, вторая - с порами и трещинами, третья - с порами, трещинами и межкусковыми промежутками). Практическое значение для топлив имеют истинная и насыпная плотности, которые и приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Некоторые расчетные характеристики различных топлив

Топливо	Условная влажность, %	Тепловой эквивалент $Q^{p}_{н}/7000$	Плотность топлива, кг/м^3	
			истинная $\rho_{ист}$	насыпная $\rho_{нас}$
Уголь, т: Кузнецкий уголь (сортовой)	-	0,952	1450	840
Свердловский	-	0,595	-	-
Буланашский	-	0,730	1740	1000
Хакасский (Минусинский)	-	0,736	1700	970
Канско – Ачинский	-	0,486	1530	770
Экибастузский	-	0,617	1750	990
Торф топливный, т: Фрезерный	40	0,34	1500	670
Кусковой	33	0,41	1500	-
Брикет	16	0,6	1600	-
Полубрикет (прессуется без предварительной сушки)	28	0,45	1550	-
Дрова для отопления, м^3 (плотный)	40	0,266	-	450
Древесные опилки, м^3 (складской)	40	0,11	-	-
Сучья, хвоя, щепа, м^3 (складской)	40	0,05	-	-
Солома, т	10	0,5	-	-
Газ природный, 1000 м^3	-	1,142	800	-
Нефть, т	-	1,43	950	-
Мазут топочный, т	-	1,37	1000	-
Топливо дизельное, т	-	1,45	860	-
Топливо печное бытовое, т	-	1,45	860	-
Бензин автомобильный, т	-	1,49	840	-
Керосин, т	-	1,47	850	-

Теплотворная способность. Под теплотворностью (теплотой сгорания) понимается то количество теплоты (тепла), которое выделяется при полном сгорании топлива. Кроме полной теплотворности, т.е. количества теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы топлива (1 кг, 1 м^3, 1 моль), в расчетах чаще всего используют низшую теплотворность $Q_{н}$, определяемую при условии, что вода, образующаяся при сгорании топлива,

будет в парообразном состоянии. В практических условиях приходится иметь дело с низшей теплотворной способностью рабочего топлива - $Q^{р}_{н}$, ккал/кг, кДж/кг; это основной показатель теплоценности топлива.

Для того чтобы можно было сопоставить топлива между собой по их теплоценности, введено понятие условного топлива (у.т.), теплотворность которого 7000 ккал/кг у.т., 29310 кДж/кг у.т.

В различного вида отчетных документах расход топлива на каждый вид продукции (выполненных работ) и в целом по предприятию, муниципальному образованию и т.д. приводится в тоннах условного топлива (т у.т.). Натуральные топлива пересчитываются в условное, как правило, по их фактическим тепловым эквивалентам *К*, определяемым как отношение низшей теплоты сгорания рабочего состояния топлива к теплоте 1 кг у.т., т.е.

$$K = Q^{р}_{н}/700, \text{ или } Q^{р}_{н}/29310. \qquad (1.4)$$

Значения тепловых эквивалентов для топлив, чаще всего используемых в повседневной практике, приведены в табл.1.2.

Угольное топливо. Все ископаемые угли делятся на три основных типа: бурые, каменные и антрациты. Это деление достаточно условное, так как есть угли, которые можно отнести к разным типам.

Бурые угли (марка Б) отличаются меньшей, чем для других углей, теплотворной способностью ($Q^{р}_{н} \approx 2250 – 4000$ ккал/кг). Их характеризует большой выход летучих ($V^{г} = 40 – 50$ %), неспекающийся коксовый остаток и большая влажность, доходящая до 55 – 58 % у молодых и до 30 % у старых углей. Они легко теряют на воздухе влагу и механическую прочность, превращаясь при этом в мелочь, и обладают повышенной склонностью к самовозгоранию. Их целесообразно использовать как местное энергетическое топливо из-за низкой теплоты сгорания, самовозгорания и растрескивания. Но в современной ситуации, когда цены на топливо резко

выросли, при сокращении объемов их добычи бурые угли перестают быть топливом местного значения.

Каменные угли – это топливо с выходом летучих веществ более 9 %. Нередко это спекающиеся угли (сырье для коксования), за исключением длиннопламенных и тощих. Они отличаются широким диапазоном теплотворности ($Q^{p}_{н} \approx 3200 – 6000$ ккал/кг) и большим разнообразием марок.

Антрациты по своему геологическому возрасту являются наиболее старыми из всех ископаемых углей, у них выход летучих веществ менее 9 %, что затрудняет их воспламенение. Высокая теоретическая температура горения (2180 ^{0}C) создает трудности для сжигания антрацитов в слое, особенно на механических колосниковых решетках. Теплотворность антрацита $Q^{p}_{н} \approx 5500 –6800$ ккал/кг. Антрациты обладают наибольшей из ископаемых углей механической прочностью, малым количеством влаги и золы, а также ярко-черным блеском. Переходными между каменными углями и антрацитами являются так называемые полуантрациты (марка ПА), отличающиеся несколько большей теплотворностью.

Угли классифицируют также по крупности, если их путем грохочения разделяют на классы: плита (>100 мм), крупный (50 – 100 мм), орех (25 – 50 мм), мелкий (13 – 25 мм), семечко (6 – 13 мм), штыб (< 6 мм). В этом случае к марке угля добавляют обозначение класса крупности, например АШ – антрацитовый штыб и др. Но энергетические топлива грохочению практически не подвергаются, и такой уголь называется *рядовым*. Часть углей, обычно спекающихся, подвергается обогащению – сухому или мокрому – с выделением малозольного концентрата для коксования, также высокозольного промпродукта для энергетических целей. Еще одной разновидностью твердого топлива являются горючие сланцы с зольностью до 70 %. Это малоценное рабочее топливо.

Торф. Это относительно молодое геологическое образование, создающееся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и недостаточном доступе воздуха. По внешнему ви-

ду торф представляет собой волокнистую (при малой степени разложения) или пластическую (при высокой степени разложения) массу, соответственно коричневого или черного цвета. Торф в естественном состоянии содержит большое количество воды, чем он резко отличается от других видов твердого ископаемого топлива - бурого и каменного углей.

Под торфяным топливом при способах добычи его с воздушной сушкой понимается воздушно-сухой торф с влажностью до 50 % – для кускового, до 53 % – для фрезерного торфа и зольностью до 23 %. Торфяное топливо, которое поступает потребителю с его действительными влажностью и зольностью, называется натуральным. Количество сухой массы в нем в зависимости от влажности бывает весьма различно, поэтому все весовые расчеты по поставкам топлива должны производиться на условную влажность (33 % для кускового и 40 % для фрезерного торфа).

В настоящее время при производстве торфа широко используется процесс брикетирования. Это процесс уплотнения и упрочнения порошкообразного, мелкого материала при прессовании в замкнутом пространстве. Торфяные брикеты обычно имеют форму цилиндра или призмы, изготовляются из торфяной крошки (фрезерного торфа) и используются в качестве бытового топлива или в топках коммунальных и промышленных котельных. По своему тепловому эффекту 1 т торфяных брикетов может заменить до 3 $м^3$складских дров. Если при производстве брикетов не используется искусственная сушка торфа, то получаемый продукт называется полубрикетом. Из торфа производят также кокс.

Значение теплоты сгорания $Q^{р}_{н}$ для различных видов торфяного топлива обычно составляют, ккал/кг:

торф фрезерный	– 2000…2600
торф кусковой	– 2200…3000
брикеты торфяные	– 3500…4200
полубрикеты торфяные	– 2800…3500
кокс торфяной	– 7250.

Древесное топливо. Состоит в основном из клетчатки $C_6H_{10}O_5$ (50 – 70 %) и межклеточного вещества лигнина (20 – 30 %). Ценность древесного топлива состоит в малой зольности (до 1 %), отсутствии серы и большом содержании горючих летучих (до 85 %). Возможная значительная влажность ($W^р$ до 60 %) существенно снижает его теплотворную способность. Иногда для дров вводят понятие абсолютной влажности, определяемой по формуле, %:

$$W = (G - G_1)\cdot 100/G_1, \qquad (1.5)$$

где G и G_1 - масса влажной и высушенной до постоянной массы при $T = 100 – 105\ ^0$С древесины, кг.

Соответственно по этой влажности дрова подразделяются:

1) на воздушно-сухие с содержанием влаги до 25 %;
2) полусухие с содержанием влаги от 26 до 30 %;
3) сырые с содержанием влаги более 50 %.

Отходы растениеводства. По своей структуре и топливным характеристикам близко подходят к древесине. Большинство из них отличаются относительно высокой теплотворной способностью. Для сравнения приведены данные по городскому мусору (средние значения $Q^р_н$ для растительных отходов), ккал/кг: солома – 3750; костра льняная – 3860; коробочки хлопчатника – 3410; стебли хлопчатника – 3470; подсолнечная лузга – 3685; рисовая шелуха – 3180; городской мусор –1000.

Жидкое топливо. Исходным сырьем практически для любого жидкого топлива является нефть. В отдельных случаях это могут быть продукты (смолы, дистилляты), получаемые при термической переработке твердых топлив. Рассмотрим здесь некоторые продукты переработки нефти.

Топочные мазуты. Классифицируются по содержанию серы на малосернистые ($S^р \le 0{,}5$ - 1,0 %), сернистые ($S^р \le 2$ %) и высокосернистые ($S^р \le 3{,}5$ %). Топочные мазуты выпускаются нескольких марок М200, М100 и т.д. Цифра показывает отношение времени истечения 200 мл мазута при

50 ^{0}С ко времени истечения такого же количества дистиллированной воды в строго определенных условиях. Из этого видно, что мазуты - очень вязкие жидкости, не менее чем в 150 раз их вязкость выше, чем у воды. Для перекачки мазутов по трубопроводам и распыливания форсунками их надо подогревать до 100 – 140 ^{0}С.

Моторные топлива. Это топлива для двигателей внутреннего сгорания, классифицируют по их испаряемости. Она характеризуется температурами, при которых выкипает 10, 50 и 90 % объема топлива, а для бензинов указывается и температура конца кипения. По испаряемости топливо делится на легкое и тяжелое. К легкому относится бензин, лигроин, керосин. Марка бензина определяется его октановым числом, например бензин А - 92, А - 95. Чем выше октановое число бензина, тем ниже склонность данного топлива к детонации. Детонацию можно определить упрощенно как предельный (взрывной) режим горения топлива.

Газообразное топливо. Это естественные или искусственные газы. Первые добывают из скважин газовых месторождений или, как попутные, при добыче нефти. Вторые получают в процессе термического разложения твердых или жидких топлив на специальных заводах или, как попутные, при добыче нефти. Вторые получают в процессе термического разложения твердых или жидких топлив на специальных заводах или, как попутные, при коксовании углей или в биогазовых установках при переработке органических отходов и стоков (бытовых, животноводческих и др.).

Природные газы отличаются высокой теплотворностью и полным отсутствием оксида углерода. Главное преимущество газообразного топлива состоит в удобстве транспортирования его по трубопроводам на большие расстояния и простоте сжигания. Попутные газы газонефтяных месторождений содержат ядовитый и коррозионно-активный сероводород.

В промышленности и особенно в быту используют сжиженный газ, получаемый при первичной переработке нефти и попутных нефтяных газов. Температура конденсации при атмосферном давлении этих газов

обычно ниже 0 ^{0}C, соответственно при 20 ^{0}C давление паров этих газов составляет от 0,2 до 0,8 МПа, поэтому эти газы транспортируют в жидком виде в баллонах под небольшим давлением – менее 2,0 МПа.

Теплотворность $Q^p_н$ некоторых газов, ккал/нм^3:

природный газ – 8000;

сжиженный газ (пропан) – 21700;

сжиженный газ (бутан) – 28200.

1.5. Параметры процесса горения топлива

Сжигание любого топлива есть процесс окисления органической части топлива с образованием продуктов сгорания. В качестве окислителя, как правило, используется атмосферный воздух, точнее кислород воздуха. Практически все расчеты необходимых количеств воздуха для горения, образующихся продуктов сгорания и т.п. ведутся по элементарному составу топлива, что является предметом специальных технических дисциплин. Приведем здесь самые общие данные и характеристики [6, 7].

Для каждого топлива определяют объем воздуха, нм^3/кг, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг этого топлива (нм^3 - определяют как кубический метр воздуха, приведенный к 760 мм ртутного столба атмосферного давления и температуре 0 ^{0}C). Данный объем воздуха называют также стехиометрически необходимым для сгорания единицы массы топлива. Для ориентировочных расчетов можно пользоваться приближенной формулой Всесоюзного теплотехнического института (ВТИ), нм^3/кг:

$$V_0 = [a_0 / 1000] (Q^p_н + 6W^p), \qquad (1.6)$$

где a_0 - опытный коэффициент: для антрацита - 1,11, каменных углей и мазута - 1,10; дров (W^p = 30 %) - 1,12; дров любой влажности - 1,05; торфа (W^p = 40 %) - 1,18; торфа средней влажности - 1,08; бурых углей - 1,15.

Действительное количество воздуха, подаваемое в топку, обычно несколько больше теоретически необходимого, нм^3/кг:

$$V_Д = \alpha_т \cdot V_0, \quad (1.7)$$

где $\alpha_т$ - определяется как расход (избыток) воздуха в топочном пространстве котла, печи.

Для того чтобы дымовые газы не выбивались из топки и газоходов котла, в них поддерживается обычно минимальное разрежение. При этом через неплотности обмуровки в топку, газоходы котла подсасывается холодный воздух, который является паразитным и ухудшает показатели работы котла. Разность между величинами расходов воздуха в топке и в уходящих газах (в дымовой трубе) определяется как присос воздуха, равный

$$\Delta\alpha = \alpha_{ух} - \alpha_т. \quad (1.8)$$

Для ориентировочных расчетов полный объем дымовых газов можно определить по упрощенной формуле ВТИ, нм^3/кг:

$$V_г = (C \cdot \alpha + B) \cdot \frac{Q^р_н + 6W^р}{1000} + 0{,}0124\ W^р, \quad (1.9)$$

где C и B - опытные коэффициенты, принимаемые из табл. 1.3.

При сжигании твердых топлив образуются также шлак и зола. Шлак удаляется через шлаковую шахту топки, а зола (унос) частично выноситься с дымовыми газами, загрязняя окружающую среду. Частично зола может улавливаться в газоходах котла, в том числе и в специальных пылегазоулавливающих установках.

Таблица 1.3

Опытные коэффициенты

Топливо	Коэффициенты	
	C	*B*
Мазут	0,069	1,120
Антрациты и тощие угли	0,020	1,118
Пламенные и бурые угли	0,54	1,112
Торф	0,108	1,094
Древесина	0,142	1,066

Концентрацию золы в дымовых газах можно оценить по формуле, г/нм^3:

$$M = 10 \cdot a_{ун} \cdot A^p / V_г, \quad (1.10)$$

где $a_{ун}$ - доля золы топлива, уносимая с газами, принимается равной

- для пылеугольных топок с сухим шлакоудалением - 0,9;
- для шахтно-мельничных топок - 0,85;
- для слоевых топок при сжигании антрацита - 0,30;
- то же, при сжигании каменных и бурых углей - 0,2 – 0,25.

Состав продуктов сгорания. Для осуществления контроля над характером процесса горения (полное или неполное) топлива используется газовый анализ. В состав сухих продуктов сгорания входят

$$CO_2 + SO_2 + O_2 + N_2 + CO + H_2 = 100\%. \quad (1.11)$$

Полное содержание трехатомных газов $CO_2 + SO_2 = RO_2$, а при $\alpha = 1$ соответственно RO_2^{max}. При полном сгорании топлива в составе дымовых газов отсутствуют продукты неполного горения CO, H_2 и другие.

Для приближенных расчетов коэффициент расхода воздуха α можно определить по составу продуктов полного сгорания топлива по формулам:

азотной $\alpha = N_2/(N_2 - 3{,}76 \cdot O_2)$, (1.12)

кислородной $\alpha = 21/(21 - O_2)$, (1.13)

углекислотной $\alpha = RO_2^{макс}/RO_2$. (1.14)

Тепловой баланс. Тепловой баланс котла, как и любого теплотехнического агрегата, характеризуется равенством между количеством подведенной и расходной теплоты: $Q_{прих} = Q_{расх}$. Обычно тепловой баланс котла составляют на единицу массы сжигаемого топлива – 1 кг твердого или жидкого топлива, либо на 1 нм^3 газообразного топлива. Основная составляющая приходной части баланса – это теплотворность топлива $Q^p_н$. Остальные составляющие обычно невелики – физическая теплота топлива,

холодного воздуха и др. Расходуемое тепло можно определить суммой полезно используемого тепла Q_1 и тепловых потерь, ккал/кг (нм^3):

$$Q^{р}_{н} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \qquad (1.15)$$

где Q_2 – потеря тепла с уходящими газами;

Q_3 – потеря тепла с химической неполнотой сгорания топлива;

Q_4 – потеря тепла с механической неполнотой сгорания топлива;

Q_5 – потеря тепла в окружающую среду;

Q_6 – потеря с физическим теплом шлаков.

Уравнение (для твердого топлива) теплового баланса, выраженное в процентах от $Q^{р}_{н}$, запишется

$$g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 = 100\ \%. \qquad (1.16)$$

Полезное тепло Q_1 – это тепло выработанной тепловой энергии в горячей воде для водогрейного котла или в паре для парового котла.

Потерю тепла с уходящими газами можно определить как разность теплосодержаний уходящих из котла газов и холодного воздуха

$$Q_2 = Q_{ух} - Q_{в}.$$

Для приближенных расчетов g_2 можно пользоваться формулой

$$g_2 = 0{,}01 g_2'(t_{ух} - t_{в}), \qquad (1.17)$$

где $t_{ух}$, $t_{в}$ – соответственно температура уходящих газов и холодного воздуха, ^{0}С; g_2' – см. таблицу:

Топливо	g_2'
Древесина	$3{,}75\alpha_{ух} + 0{,}9$
Торф	$3{,}95\alpha_{ух} + 1{,}0$
Бурые угли	$3{,}85\alpha_{ух} + 0{,}55$
Каменные угли	$3{,}63\alpha_{ух} + 0{,}2$
Антрациты	$3{,}66\alpha_{ух} + 0{,}1$
Мазуты:	
механическое распыливание	$3{,}63\alpha_{ух} + 0{,}2$
паровое распыливание	$3{,}63\alpha_{ух} + 0{,}4$
Природный газ	$3{,}63\alpha_{ух} + 0{,}2$

Даже при достаточно низкой температуре уходящих газов 110 – 120 ^{0}С величина g_2 составляет не менее 8 – 10 %.

Потеря тепла от химической неполноты горения в котле g_3 зависит от содержания продуктов неполного горения в дымовых газах (CO, H_2, CH_4 и др.). При правильно организованном процессе горения величина g_3 близка к нулю. Но в котлах со слоевыми топками и ручной забросной топлива (ручные топки) организовать полное сгорание топлива невозможно. В этом случае потери g_3 могут составлять, %, в зависимости от вида топлива:

антрациты……...2,0;

каменные угли..……....3,0;

бурые угли……3,5;

торф……...3,0;

щепа..……..2,5;

дрова..…….3,0.

Потеря тепла от механической неполноты сгорания g_4 обусловливается недожогом топлива в шлаках, уносе (золе). Применительно к самым несовершенным топкам величина g_4 составляет от 7 до 12 %.

Потеря тепла в окружающую среду g_5 зависит от большого количества факторов: вида и состояния обмуровки котла, производительности агрегата, наличия так называемых хвостовых (конвективных) поверхностей нагрева и т.п. Для котлов малой производительности при их номинальной нагрузке g_5 равно не менее 2 %. При этом со снижением фактической нагрузки котла величина g_5 возрастает обратно пропорционально.

Потеря с физическим теплом шлаков g_6 особенно заметна опять же для ручных топок - 1,0 – 1,5 %.

Отношение полезно использованного тепла в котле к располагаемому называется коэффициентом полезного действия (брутто). Он может быть определен, %, по прямому тепловому балансу

$$\eta = 100Q_1/Q^{\text{р}}_{\text{н}}, \qquad (1.18)$$

по обратному тепловому балансу

$$\eta = 100 - \sum g, \qquad (1.19)$$

где $\sum g$ – сумма тепловых потерь котла, %.

Для ручной топки η котла приближенно составит с учетом выше сделанных оценок

$$\eta = 100 - 9 - 3{,}5 - 11 - 3 - 1 = 72{,}5\ \%.$$

Коэффициент полезного действия, %, учитывающий расходы электроэнергии и тепла на собственные нужды, называется КПД нетто:

$$\eta^{н} = \eta - g_{сн}, \qquad (1.20)$$

где $g_{сн}$ – общий расход энергии (электрической и тепловой) на собственные нужды котла, отнесенный к располагаемому теплу, %.

Нормативы расходов тепла на собственные нужды, в % от номинальной нагрузки котельной, составляют: газообразное топливо – 2,3 - 2,4; слоевые и факельно-слоевые топки – 5,1 - 2,6; жидкое топливо – 9,7 - 3,9.

Удельные расходы электроэнергии на выработку и транспортирование тепла для отопительных котельных составляет 18 - 20 кВт·ч/Гкал, или около 1,7 %.

Таким образом, в настоящее время в котельных с котлами со слоевым сжиганием топлива КПД нетто составляет, как правило, не более

$$\eta^{н} = 72{,}5 - 5 - 1{,}7 = 65{,}8\ \%,$$

т. е. полезно используется только около половины сжигаемого топлива.

1.6. Производная энергия

Как уже отмечалось, к производной энергии относятся энергоносители в виде пара, горячей воды (тепловой энергии), сжатого воздуха, электроэнергии, кислорода и др., которые в настоящее время широко используются в самых различных технологических процессах, а также в быту.

Для их производства необходима, как правило, первичная энергия (топливо), а также соответствующие виды производной (преобразованной) энергии. Для производства преобразованной энергии используются различные энергоисточники:

- традиционные (тепловые электрические станции – ТЭС, атомные (ядерные) электрические станции – АЭС, котлы, компрессорные установки и т.д.);
- установки на вторичных ресурсах (котлы-утилизаторы, тепловые насосы, холодильники и т.п.);
- нетрадиционные (альтернативные) – ветроэнергоустановки, биореакторы, гелиоподогреватели и др.

Работоспособность, или энтальпию, любого из этих теплоносителей определяет сумма их внутренней энергии и потенциальной энергии источника.

Дадим краткую характеристику основных видов энергоносителей.

Пар водяной. Это вода в газообразном состоянии. Различают насыщенный пар, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью (водой), и перегретый пар, имеющий температуру $T_{\text{п}}$ больше температуры насыщения $T_{\text{н}}$ для данного давления. Водяной пар – рабочее тепло паровых турбин и машин. Пар также широко используется как высокотемпературный теплоноситель для сушилок, термической обработки и др.

Для равновесной термодинамической системы существует функциональная связь между параметрами состояния, которая называется уравнением состояния. Такие параметры простейших систем, которыми являются газы, пары и жидкости, связаны термическим уравнением состояния вида

$$f(p, u, T) = 0. \qquad (1.21)$$

На основании теории, разработанной М.П. Вукаловичем и др., было получено численное уравнение состояния водяного пара, на основании которого составлены таблицы и диаграммы свойств водяного пара для раз-

личных температур и давлений. Эти диаграммы и таблицы используются для практических расчетов всех теплоэнергетических процессов, в которых используется водяной пар.

Вода. Жидкость без запаха, вкуса, цвета, химическая формула H_2O. Плотность 1000 кг/м^3 при температуре 3,98 ^{0}С. При 0 ^{0}С превращается в лед, при 100 ^{0}С – в пар. Вода – обязательный компонент практически всех технологических процессов как промышленных, так и сельскохозяйственных. Особенно широко вода применяется в теплотехнике как энергоноситель для производства и переноса тепловой энергии. В нашей стране с использованием горячей воды разработаны и реализованы многочисленные централизованные системы теплоснабжения для отопления и горячего водоснабжения жилых, социальных и производственных зданий и технологических потребителей. Распространенный источник теплоснабжения – теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и отопительные и производственно-отопительные котельные.

Электрическая энергия (электричество). Определяется как совокупность явлений, в которых проявляется существование, движение и взаимодействие (посредством электромагнитного поля) заряженных частиц. Электрическая энергия имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с другими видами производной энергии – возможность получения практически любых количеств энергии как от элемента размером со спичечную головку, так и от турбогенераторов мощностью более 1000 МВт, сравнительная простота ее передачи на расстояние и легкость преобразования в энергию других видов. Основная проблема - это ее хранение. Здесь возможности очень ограничены.

В настоящее время трудно представить себе жизнь без электроэнергии. Так, в США на долю электроэнергии приходится около 45 % используемой энергии. Электроэнергия находит применение и в электромобилях, и в производстве водородного топлива, в том числе и из воды.

Воздух. Это смесь газов, из которых состоит атмосфера Земли: азот (78,08 %), кислород (20,95 %), инертные газы (0,94 %), углекислый газ (0,03 %). Плотность – 1,293 кг/м^3, растворимость в воде 29,18 см^3/л. Благодаря кислороду, содержащемуся в воздухе, он используется как химический агент в различных процессах (сжигание топлива, выплавка металлов из руд, получение многих химических веществ). Воздух – важнейшее промышленное сырье для получения кислорода, азота, инертных газов. Используется как теплоизоляционный и звукоизоляционный материал.

Кроме всего этого, сжатый воздух – рабочее тепло для совершения механической работы (пневматические устройства, струйные и распылительные аппараты и др.).

Кислород. Химический элемент, в свободном виде встречается в двух модификациях – O_2 («обычный») и O_3 (озон). O_2 – газ без цвета и запаха, плотность – 1,42897 кг/м^3. В химической практике самый активный неметалл. С большинством других элементов (водородом, многими металлами и др.) кислород как окислитель взаимодействует непосредственно и, как правило, с выделением энергии. Процесс окисления по мере повышения температуры и роста скорости реагирования переходит в режим *горения*. Разновидностью последнего можно назвать *взрыв* (*детонация*). Кислород (или обогащенный им воздух) применяются в металлургии, химической промышленности, при космических полетах, подводном плавании, в медицине. Жидкий кислород – окислитель ракетного топлива.

Использование кислорода в качестве окислителя вместо воздуха многократно увеличивает скорости горения (окисления), снижает объем образующихся продуктов горения. При этом резко возрастает интенсивность выноса твердой фазы из зоны реакции (на 1 - 2 порядка), что существенно осложняет решение проблем охраны окружающей среды.

Для сравнения приведем некоторые теплофизические характеристики ряда горючих газов (и мазута, для сравнения) при окислении их воздухом и кислородом (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Горючие газы при их окислении

Газ	Химическая формула	Плотность, кг/м^3	Низшая теплота сгорания МДж/м^3 (МДж/кг)	Стехиометрические объемы окислителей, м^3/м^3		Стехиометрический объем продуктов сгорания при окислении, м^3/м^3		Пределы взрываемости, об. %, в смеси: воздух/кислород	
				воздуха	кислорода	воздухом	кислородом	верхний	нижний
Аммиак	NH_3	0,771	14,361	9,52	2,0	11,9	2,5	27/79	16/13,5
Ацетилен	C_2H_2	1,171	56,899	11,9	2,5	12,4	3,0	80/93	2,5/2,8
Н - Бутан	C_4H_{10}	2,702	123,762	30,96	6,5	33,44	9,0	8,41/-	1,86/-
Водород	H_2	0,090	10,802	2,38	0,5	2,88	1,0	74,2/95	4,0/4,0
Метан	CH_4	0,717	35,797	9,52	2,0	10,52	3,0	15/60	5,0/5,0
Оксид углерода	CO	1,25	12,644	2,38	0,5	2,88	1,0	74,2/96	12,5/12,5
Пропан	C_3H_8	2,004	92,989	23,8	5,0	25,8	7,0	9,5/-	2,37/-
Этилен	C_2H_4	1,26	59,536	14,28	3,0	15,28	4,0	28,6/80,8	2,75/2,75
Природный газ	смесь	0,736	35,05	9,315	1,956	10,467	3,108	15/-	5,0/-
Мазут М100	смесь	1015	40,5	10,38	2,18	11,14	2,99	-	-

1.7. Технологические схемы производства энергии

Практически все энергетическое топливо используется для получения тепловой энергии в виде пара и горячей воды. Исключение составляет топливо, которое непосредственно используется в системах печного, калориферного отопления, а также с применением газовых горелок инфракрасного излучения, когда продукты сгорания природного газа поступают непосредственно в отапливаемое помещение.

Устройства, предназначенные для получения пара или горячей воды повышенного давления за счет теплоты, выделяемой при сжигании топлива, или теплоты, подводимой от посторонних источников (обычно с горячими газами), называют ***котлами***. По производимой продукции они делятся на паровые и водогрейные. Котлы, использующие (утилизирующие) теплоту отходящих из технологических печей газов или других основных и побочных продуктов, называют ***котлами-утилизаторами***. В целях обеспечения стабильной и безопасной работы котла предусматривается установка вспомогательного оборудования, предназначенного для подготовки и подачи топлива, подачи воздуха, подготовки подачи воды, отвода продуктов сгорания топлива и их очистки от золы и токсичных примесей, удаления золошлаковых остатков топлива. В зависимости от вида сжигаемого топлива и других условий некоторые из указанных элементов могут отсутствовать. Котлы, снабжающие паром турбины, называют ***энергетическими***. Для снабжения паром производственных потребителей и отопления зданий разработаны специальные ***производственные и отопительные котлы.***

В качестве источников тепла для котлов используются природные и искусственные топлива, отходящие газы технологических печей и других устройств, ядерная энергия, а также возобновляемые источники энергии – солнечная энергия, ветер, вода рек и др. Значительная часть тепловой энергии превращается в электричество, как правило, на специальных про-

изводственных комплексах – электрических станциях. Энергию водного потока преобразовывают в электричество на гидроэлектростанциях (ГЭС). Водный поток вращает рабочие колесо турбины, которое соответственно приводит в движение ротор генератора, вырабатывающего электрический ток. На тепловых электростанциях (ТЭС) турбины вращает пар, вырабатываемый в котлах. На ТЭС производится в мире до 70 - 80 % электроэнергии. В настоящее время кроме паровых турбин на ТЭС используются газотурбинные установки. Получают распространение и электростанции с двигателями внутреннего сгорания на самых различных видах топлива – дизельном, природном газе, биогазе и др.

Коэффициент полезного действия современных ТЭС с паровыми турбинами достигает 40 %, с газовыми турбинами пока не более 37 %. Освоены также комбинированные установки с паровыми и газовыми турбинами (парогазовые установки – ПГУ) мощностью 250 МВт. Коэффициент полезного действия ПГУ может достигать 43 %. В 50-е годы XX века атомные электростанции (АЭС) также имеют паротрубный привод электрогенератора и отличаются от традиционных ТЭС лишь типом парогенератора (рис. 1.1). В целом по всему миру АЭС вырабатывают до 16 % электроэнергии.

По виду отпускаемой электроэнергии паротурбинные ТЭС делятся на конденсационные электрические станции (КЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). На КЭС установлены турбогенераторы конденсационного типа, они производят только электроэнергию.

ТЭЦ отпускают внешним потребителям электроэнергию и тепловую энергию с паром и горячей водой. Поскольку ТЭЦ связана с потребителями достаточно протяженными трубопроводами пара и горячей воды, это вызывает повышенные тепловые потери.

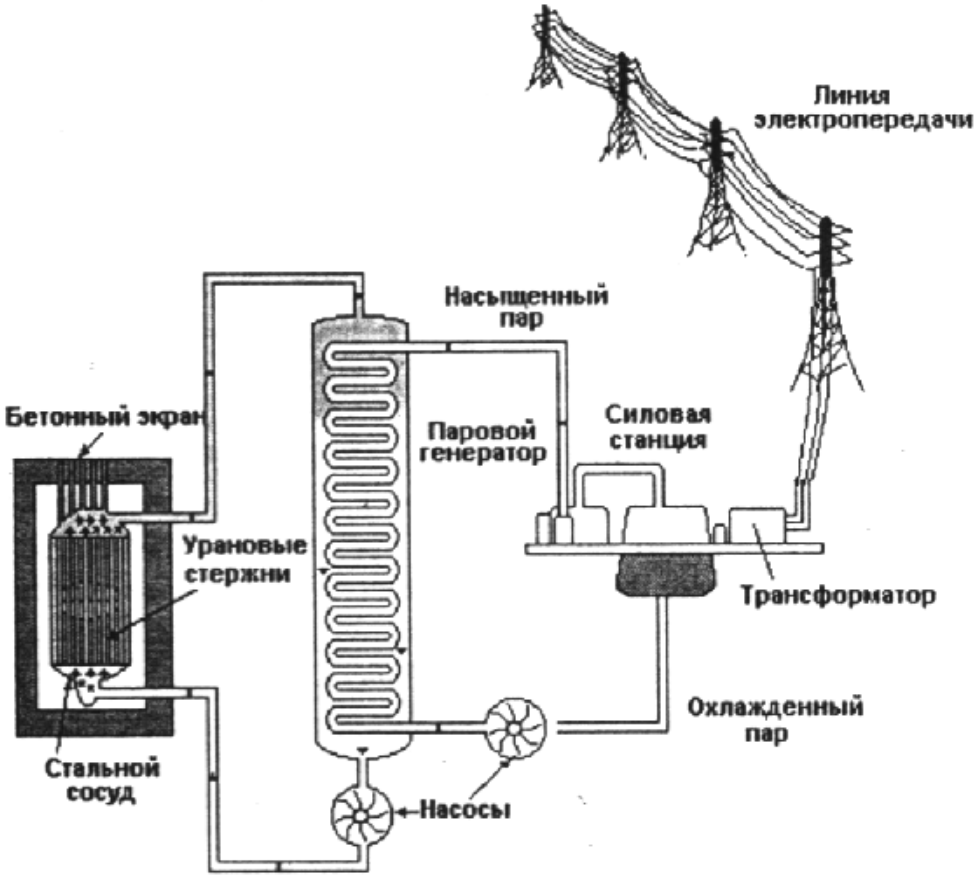


Рис. 1.1. Принципиальное устройство атомной станции

В бывшем СССР был крен в сторону крупных и очень крупных станций. Например, установленная мощность Рефтинской ГРЭС (государственная районная электростанция) составляет 3800 МВт. При этом сжигается очень высокозольный экибастузский уголь.

В настоящее время все большее развитие получают системы распределенной (сотовой) энергетики, когда наряду с крупными энергоисточниками в единой системе функционируют мини-ТЭС с установленной мощностью от 1 МВт [71].

Сжатый воздух. Для производства сжатого воздуха используются различные компрессорные установки с электроприводом. При производстве дутья для доменных печей металлургических предприятий (доменного дутья) используются компрессоры с турбоприводом. В этом случае значи-

тельно снижаются удельные расходы электроэнергии, соответственно, 100 и 80 кВт /1000 $м^3$ сжатого воздуха с давлением около 8 атм.

Кислород получают чаще всего из воздуха посредством реализации цикла глубокого охлаждения и разделения воздуха. К настоящему времени созданы воздухоразделительные установки различного назначения. Основой комплекса процессов цикла разделения воздуха является процесс ректификации – это физический способ, базирующийся на различии в температурах кипения отдельных компонентов воздуха. Этот процесс реализуется за счет низких температур. Хладоагентом чаще всего служит сам перерабатываемый воздух. Задача создания необходимого холода сводится к соответствующему уменьшению энтальпии воздуха. С этой целью применяют несколько способов:

- использование расширительной машины (детандера),
- использование эффекта Джоуля – Томсона, который заключается в том, что в ходе дросселирования сжатого воздуха при определенных условиях происходит понижение его температуры. В зависимости от схемы воздухоразделительной установки возможно получение технологического кислорода, содержащего 95 % кислорода, или технического кислорода, содержащего 99,5 % кислорода.

Контрольные вопросы

1. В какую энергетическую эпоху мы живем?
2. Что произошло на Чернобыльской АЭС (Украина) 26 апреля 1986 г.?
3. Что является первоисточником запасов органических топлив на Земле?
4. Возможна ли тепловая смерть Вселенной?
5. Основные виды энергии?
6. Отличия между первичной и производной энергией?
7. Что такое суммарные энергозатраты?
8. Какие виды топлив применяются в повседневной практике?
9. Что такое тепловой баланс котла?
10. Что такое собственные нужды котельной?
11. Чем отличаются КПД брутто и нетто?
12. Почему такой низкий КПД нетто котельной со слоевым сжиганием топлива?
13. Основные виды преобразованной энергии.
14. Основной недостаток централизованных систем теплоснабжения крупных городов.
15. Преимущества и недостатки кислорода как окислителя.
16. Назовите КПД современных электростанций. Почему они такие низкие?
17. Чем отличаются ядерная и тепловая электростанции?
18. Что такое распределенная (сотовая) энергетика?

2. Энергоресурсы

Источник любых энергоресурсов –
только природа!

2.1. Виды энергоресурсов

Общие запасы энергии, на которые может рассчитывать человечество, оцениваются ресурсами, которые можно разделить на две большие группы: невозобновляющиеся и возобновляющиеся.

К первой группе следует отнести запасы органического топлива, ядерной энергии деления. К этой группе некоторые специалисты относят также и геотермальную энергию.

Возобновляющаяся энергия:

- падающая на поверхность Земли солнечная энергия;
- геофизическая энергия (ветра, рек, морских приливов и отливов);
- энергия биомассы (древесина, отходы растениеводства, отходы животноводства, хозфекальные стоки).

Запасы энергоресурсов на Земле огромны. Но использование их не всегда возможно или связано с большими затратами на разработку, транспортировку этих ресурсов, охрану труда и окружающей среды.

Из разведанных и легко добываемых запасов органических топлив на Земле можно привести следующие объемы на данный период, млрд. т у.т.:

уголь (включая бурый)……800;

нефть…….....90;

газ……85;

торф……..5.

Таким образом, *легкодобываемые* запасы энергоресурсов никак нельзя назвать значительными, скорее ограниченными. Следует отметить, что распределение запасов органических топлив на земле очень неравномерно.

Более 80 % всех этих запасов сосредоточены на территории Северной Америки, бывшего СССР и развивающихся стран. Это уже является основанием для возникновения всякого рода чрезвычайных ситуаций и кризисов. Предполагалось, что XXI век будет веком ядерной энергетики. Но, как отмечалось, Чернобыльский синдром привел к существенным ограничениям дальнейшего развития атомной энергетики.

В настоящее время мировое потребление невозобновляемых энергоресурсов в год составляет, по разным данным, 12 – 15 млрд. т у.т. Из них более 50 % составляют нефть и газ.

Из возобновляемых источников энергии наибольшее развитие получила гидроэнергетика, до 9 % от общей выработки электроэнергии. Пока возможный технически гидроэнергетический потенциал используется в мировой практике примерно на 10 % из общего мирового потенциала 7 млрд. т у.т./год. Но строительство ГЭС – это затратное дело, особенно ГЭС большой мощности. Окупаемость затрат здесь несколько десятков лет. При этом 80 % всего гидроэнергетического потенциала сосредоточено в Латинской Америке, Африке, Азии, бывшем СССР. Все эти страны с весьма ограниченным или неопределенным инвестиционным потенциалом.

Общий вклад в современное энергопроизводство таких источников энергии, как солнечная, ветровая, приливная, очень мал и не превышает 0,1 %. Оценки, выполненные в Японии, свидетельствуют, что максимальный вклад этих источников при современных методах использования предельно может достичь 3 % от современного уровня энергообеспечения (для Японии). Следует учесть, что не каждая страна может себе позволить необходимые инвестиции в освоение этих видов энергоресурсов.

Достаточно перспективно использование энергии биомассы, в первую очередь дров. По разным оценкам, в год на Земле в энергетических целях сжигается дров до 1,5 млрд. т у.т., а общий энергетический потенциал биомассы оценивается в 5,5 млрд. т у.т./год. В ряде стран (Китай, США, Индия) для освоения энергии биомассы широко используются биогазовые

установки для получения искусственного горючего газа. Подобные установки имеются и в нашей стране, производят также высокоэффективные удобрения. Считается, что в российском животноводстве и птицеводстве в год образуется около 150 млн. т органических отходов. В случае их переработки в биогазовых установках можно ежегодно получать дополнительно 95 млн. т у.т., что эквивалентно 190 млрд. кВт·ч электроэнергии. Этой энергии достаточно, чтобы обеспечить электроэнергией весь агрокомплекс России. Плюс к тому - полученные в биореакторах более 100 млн. т высокоэффективных удобрений (без следов нитритов и нитратов, болезнетворной микрофлоры и даже семян сорняков).

Однако темпы освоения возобновляемых источников энергии в нашей стране чрезвычайно низки.

2.2. Темпы потребления энергоресурсов

Россия располагает значительными запасами всех видов органических топлив, ядерного топлива, а также огромным гидроэнергетическим потенциалом. При достаточно оптимистическом прогнозе технически возможный энергетический потенциал России в первичном топливе можно оценить в таких объемах, указанных в табл. 2.1.

Приведем здесь примерные темпы потребления первичных энергоресурсов в России в начале и конце 90-х годов XX столетия, млн. т у.т.

Год	Произведено энергоресурсов	Собственное потребление	Экспортная составляющая
1990	1860	1600	260
1996	1400	980	420
2003	1618	945	673

Таблица 2.1

Энергетический потенциал России

Вид энергетического ресурса	Технический потенциал, млрд. т у.т.	Доля в общем потенциале, %
Невозобновляемые ресурсы		
Уголь	2000	85,8
Нефть	20	0,86
Газ	60	2,6
Ядерное топливо	200	8,6
Торф	50	2,14
Всего	2330	100
Возобновляемые ресурсы, млрд. т у.т./год		
Гидроэнергия	0,8	57,1
Древесина и отходы полеводства	0,05	3,6
Органические отходы	0,2	14,3
Энергия ветра	0,25	17,9
Солнечная энергия	0,1	7,1
Всего	1,4	100

Примерная структура потребления энергоресурсов, млн. т у.т./год (%):

уголь…….400 (21,5)

нефть…….450 (24,2)

газ……..885 (47,6)

ядерное топливо……..100 (5,4)

остальное (гидроэнергия, торф, дрова и др.)……..25 (1,3)

всего……1860 (100).

Если рассматривать вопрос, на какое время хватит энергоресурсов в России, как арифметическую задачу, то можно условно говорить, что еще 800-1000 лет такой проблемы практически не существует. Хотя возникает много других - обеспечение техники безопасности при добыче твердого топлива, охрана окружающей среды и т.д. Но если говорить о сроках возможного запаса самых *легкодоступных и удобных энергоресурсов* (газ, нефть), то на сегодняшний день можно говорить о 60 – 70 годах. Несомненно, жизнь введет свои поправки, но пока возможные запасы оценива-

ются сроками, которые по своей продолжительности можно оценить периодом жизни одного, двух поколений. И в этих условиях уже возникает очевидная проблема увеличения и сохранения запасов легкодоступных энергоресурсов. Человечество здесь идет несколькими направлениями:

- всемерная экономия и рациональное использование топлива и энергии,
- освоение возобновляемых источников энергии,
- разведка и освоение новых месторождений,
- создание стратегических запасов легкодоступных энергоресурсов и др.

Все эти направления сохраняют свою актуальность и для России. Кроме того, в нашей стране есть и свои собственные проблемы:

- чрезмерно высокая экспортная составляющая в объеме производимых энергоресурсов – более 400 млн. т у.т./год, т. е. более 30 % от всего объема производства. Это свидетельствует о том, что в нашей стране существует проблема сохранения природных запасов энергоресурсов, защиты интересов будущих поколений;
- в структуре промышленного производства нашей страны преобладают энергоемкие сырьевые отрасли (горнодобывающая, энергетическая, металлургическая и т.п.). Мировой опыт показывает, что путь энергетического и сырьевого доминирования в экономике разорителен и в долгосрочной перспективе неприемлем.

Необходима более глубокая и комплексная переработка природных ресурсов, развитие машиностроительного и других комплексов, производящих товарную продукцию, имеющих платежеспособный спрос не только в нашей стране, но и за рубежом.

На рис. 2.1 показано соотношение удельного валового внутреннего продукта (ВВП) и удельной энергоемкости в различных странах. Наша страна, имея достаточно высокий уровень душевого энергопотребления (на уровне стран с высоким достатком), по показателю удельного ВВП нахо-

дится в числе стран с минимально достаточным уровнем жизни. Ввиду этого для России принципиально важен перелом в тенденциях развития – переход от вектора энергетической доминанты (вдоль горизонтальной оси, рис. 2.1) к вектору энергоэффективности (вдоль вертикальной оси) [8].

Переход к такому вектору развития вряд ли возможен без освоения возобновляемых источников энергии. Наша страна имеет возможность уже в самом ближайшем будущем осваивать вплоть до 0,7 - 0,8 млрд. т у.т. в год только за счет гидроэнергии, отходов. А эти объемы соразмерны с объемами потребления энергоресурсов в России в настоящее время, причем в стране разработаны эффективные технологии, возможен выпуск оборудования в требуемом объеме. Необходимо создание и реализация на государственном уровне комплекса административно-законодательных мер, направленных не только на повышение эффективности использования топлива и энергии в различных сферах экономики, но и на целевое массовое развитие технологий и оборудования, использующих возобновляемые источники энергии. Без создания альтернативной, многоукладной энергетики невозможно обеспечение необходимой надежности и экономичности бытовой и промышленной сфер, а также создание условий, обеспечивающих сохранение стратегического запаса легкодоступных природных энергоресурсов для будущих поколений.

2.3. Закономерности потребления энергии

Между биологическими системами и окружающей средой непрерывно происходит самопроизвольный обмен веществом и энергией. Обмен, происходящий между человеком и природой в процессе его трудовой деятельности, материального производства и потребления, переходит на другой уровень: от самопроизвольного обмена к осознанной трудовой деятельности человека, направленной на видоизменение и приспособление предметов природы для удовлетворения своих потребностей. Если гово-

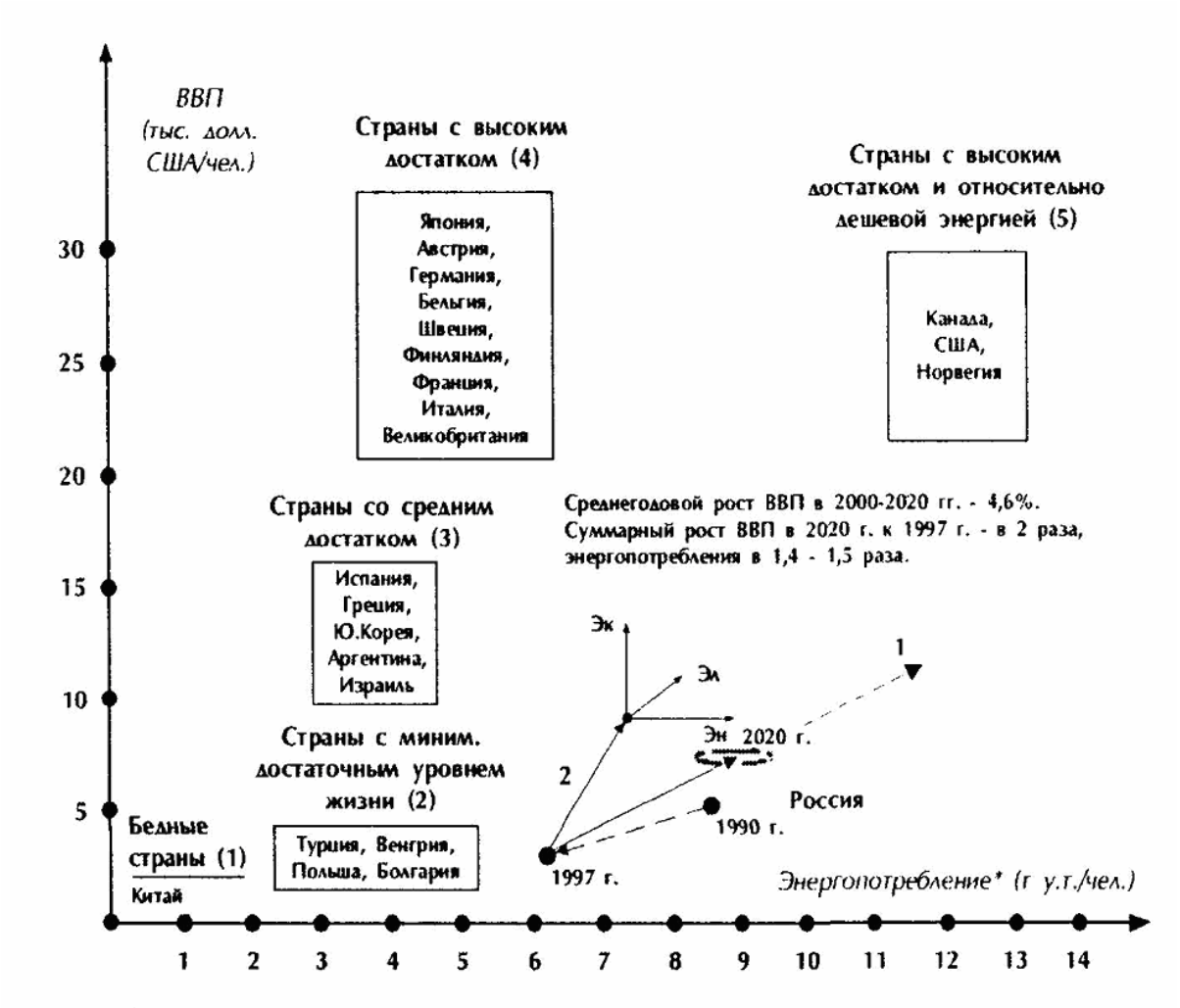


Рис. 2.1. Соотношение удельного ВВП и удельной энергоемкости различных стран

рить об энергетической сущности этих процессов, то впервые на них обратил внимание наш соотечественник С.А. Подолинский, который в 1880 г. дал определение: «труд есть такое потребление механической и психической работы, накопленной в организме, которое имеет результатом увеличения количества превратимой энергии на земной поверхности» [1]. Исследуя различные виды труда, С.А. Подолинский показал, что все они подчиняются *закону накопления энергии трудом.* Например, шитье одежды, постройку жилья С.А. Подолинский считал полезным трудом, потому что их конечная цель та же самая - сберечь часть превратимой энергии, накопленной в человеческом теле, защищая его от холода, ветра, дождя и т.п.

При этом он подчеркивал, что одежда и жилище точно так же ведут к сбережению и наивыгоднейшему распределению энергии в теле человека, как, например, обучение ведет к наивыгоднейшему потреблению энергии во время работы. Следует от себя добавить – осознанной работы.

Вместе с тем С.А. Подолинский не упускает из виду, что такой, казалось бы, самый энергетически выгодный труд, как добыча угля и торфа, позволяющий получить в те времена в 20 раз больше энергии, чем затрачивалось, лишь относительно выгоден. «Не следует забывать, – писал он, – что каменный уголь есть запас солнечной энергии, собранный за громадный период времени, и что, потребляя его в большом количестве, мы вводим в наш бюджет случайно собравшиеся доходы прежних лет, а расчет ведем так, как будто мы действительно сводим концы с концами. Если бы мы посредством того труда, который идет на добывание каменного угля, умели фиксировать ежегодно такое количество солнечной энергии на земной поверхности, которое равняется добычи каменного угля, тогда действительно весь этот труд мог бы считаться полезным» [2].

Здесь даны определения исчерпаемости невозобновляемых источников и обязательности перехода на возобновляемые источники энергии, что и является основной целью энергосберегающей деятельности человека.

С.А. Подолинский отмечал также, что человеческая деятельность, противоположная труду, например войны, есть расхищение энергии, рассеиваемой в пространстве. Согласно современным научным представлениям, мерой рассеяния энергии является энтропия. В пределах любой замкнутой системы количественный рост энтропии ведет к качественному обесцениванию энергии этой системы.

Таким образом, можно утверждать, что примерно 125 лет назад С.А. Подолинский обосновал энергоэнтропийную сущность трудовой деятельности, которую можно свести к следующему выводу: «усовершенствование» человеческой жизни должно заключаться главным образом в количественном увеличении энергетического бюджета каждого человека, а

не только в качественном превращении низшей энергии в высшую, так как последнее возможно только в очень ограниченной степени, значительно меньшей, чем количественное накопление.

Именно через реализацию энергетического потенциала на свое развитие человечество обеспечило появление промышленности, науки, культуры, что и обусловливает определенное качество нашей жизни. Все это было бы невозможно без активного использования энергетических ресурсов Земли, к сожалению, пока в основном за счет их невозобновляемой части. Основным показателем качества жизни человека на Земле большинством специалистов признается длительность жизни одного индивида. Эта характеристика, несмотря на значительные колебания, связанные с климатическими, политическими (войны), историческими особенностями развития различных стран, зависит от энергетического потенциала человечества. На рис. 2.2 показано изменение средней длительности жизни человека в зависимости от среднего (по всем странам мира) потребления первичной энергии.

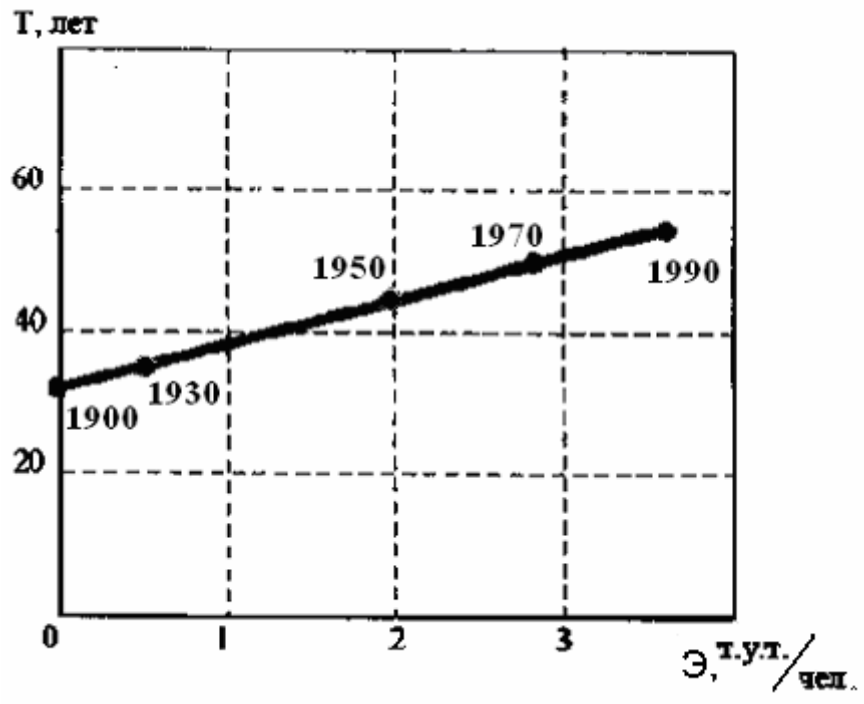


Рис. 2.2. Изменение средней длительности жизни на планете в зависимости от потребления первичной энергии в 1900 – 1990 гг.

В настоящее время, несмотря на улучшение энергетического обеспечения человечества в целом, условия жизни в разных странах далеко не одинаковы. Длительность жизни и доходы населения как показатели жизненного уровня зависят от энергообеспеченности каждой конкретной страны (табл. 2.2). Наблюдается определенная устойчивая связь высокого уровня энергообеспечения в развитых странах с высшими показателями качества жизни. Разрыв между развитыми и слаборазвитыми странами, в которых проживает 2/3 населения Земли, достигает десятикратных размеров.

Таблица 2.2

Показатели длительности жизни и энергообеспеченности ряда стран на январь 1990 г.

Страна	Энергообеспеченность, кВт·ч/чел. ·год	Длительность жизни, лет		Валовой национальный продукт на душу населения, дол./чел. год
		муж.	жен.	
Высокоразвитые страны:				
США	12170	70,6	77,7	17500
Германия	7420	69,4	75,9	12080
Франция	6661	70,6	78,1	10740
Англия	5761	70,1	76,1	8920
Япония	6944	73,8	79,9	12850
Австралия	7163	71,2	75,6	11910
Бывш. СССР	5856	68,0	74,4	4780
Умеренно - развитые страны:				
Мексика	1364	63,9	68,2	1850
Бразилия	1643	61,6	65,4	1810
Аргентина	1601	66,7	73,3	2350
Ю. Корея	2775	62,7	66,6	2370
Коста - Рика	1251	68,7	73,3	1420
Слаборазвитые страны:				
Китай	546	68,5	71,1	300
Индия	336	52,0	51,0	270
Пакистан	358	53,4	51,7	350
Эфиопия	18	39,4	42,6	120
Кения	134	53,7	58,2	300
Замбия	744	49,1	52,5	300
Руанда	27	46,7	50,0	290

Графическая зависимость изменения средней длительности жизни для условий России в зависимости от изменения уровня энергообеспеченности приведена на рис. 2.3. Здесь также наблюдается очевидный рост средней продолжительности жизни по мере увеличения показателей энергообеспечения, а именно за период с 1900 г. по 1990 г., средняя длительность жизни человека в России более чем удвоилась.

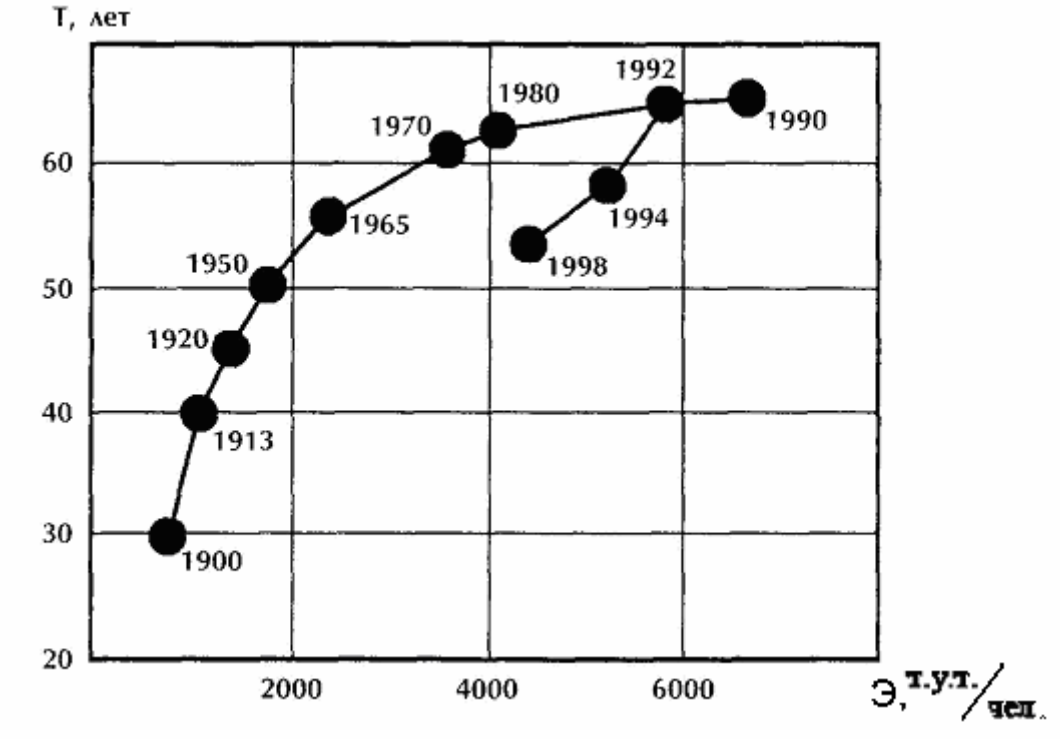


Рис. 2.3. Изменение средней длительности жизни для условий России в 1900 – 1999 гг.

Длительность жизни человека и объем производства пищи, несомненно, находятся в прямой связи. Приведем данные академика Н.Н. Семенова, согласно которым в 1972 г. мировой урожай составлял $7{,}5 \cdot 10^9$ т, а добыча горючего $6 \cdot 10^9$ т. Если считать, что калорийность пищи и кормов в сухом виде составляет около $4 \cdot 10^6$ ккал/т против $7 \cdot 10^6$ ккал/т у.т., то окажется, что энергоемкость пищи и кормов, производимых в год, составляет около 70 % энергоемкости добываемого за это же время горючего.

Хотелось бы еще обратить внимание читателя на наличие значительного теоретического задела, касающегося зависимости между расходом энергии и валовым внутренним продуктом (ВВП). Сейчас широко используется такой показатель, как темпы изменения суммарного расхода энергии в тепловых единицах на ВВП в неизменных долларах – темпы изменения отношения расхода энергии к ВВП, для того, чтобы определить зависимость между реальным экономическим ростом и ростом расхода энергетических ресурсов. За истекшее столетие количество энергии, требующейся для единицы прироста ВВП, в целом уменьшилось. Это объясняется главным образом влиянием новых технологий, особенностями изменения видов продукции и др. Например, в США в 1947 г. удельный расход энергии на 1 доллар прироста ВВП составлял 4,16 кг у.т. К 1960 г. этот показатель в расчете на 1 доллар снизился до 3,34 кг у.т., в 1974 г. составил 2,87 кг у.т., а в конце 90-х годов приблизился к 2,3 кг у.т. в расчете на 1 доллар прироста ВВП [10, 74].

Следовательно, снижение удельного расхода энергии на единицу прироста ВВП является обязательным условием устойчивого развития экономики страны, в том числе и за счет повышения эффективности использования энергии.

2.4. Энергия и окружающая природная среда

Воздействие на окружающую среду, связанное с выработкой энергии

Стоимость энергии не единственная ее социальная цена, поскольку высокую социальную цену приходится платить в связи с влиянием производства энергии на окружающую среду. В результате любого сгорания образуется углекислый газ, но могут выделяться и оксиды серы и азота, особенно при сжигании угля (см. разд. 1.5).

Известно, что загрязнение воздуха приводит к кислотным дождям, которые уничтожают водоемы и растительность; оно создает парниковый эффект, изменяющий климат; оно вызывает множество респираторных заболеваний.

Атомные электростанции производят излучения, которые добавляются к естественному радиационному фону; уровень этих излучений невысок, но он может резко возрасти в случае аварии.

Любая тепловая электростанция повышает температуру воды или атмосферы.

Кроме воздействий, связанных с работой электростанций, всегда имеются влияния на окружающую среду, связанные с постоянными изменениями, которые завод, линия передачи и т.д. вносит в жизнь, в местность, где они расположены.

Из-за всех этих влияний на окружающую среду производство электроэнергии (как и многие другие виды экономической деятельности) вызывает социальные затраты, которые в принципе не относятся к его бюджету. Устранение или ограничение вредных воздействий вызывает дополнительные расходы в производстве электроэнергии [11, 65].

Внутренние и внешние воздействия

В принципе, загрязняющая фирма напрямую не заинтересована в снижении выбросов. Классический пример – для сталеплавильного завода, производство которого S не зависит от качества используемой им воды, уменьшение вредных выбросов на x добавило бы еще один компонент к заводским затратам $C_s(S, x)$. Тогда максимальная прибыль π будет получена при $p_s = dC_s / dS$ и $dC_s / dx = 0$.

Фермер, использующий воду, сброшенную заводом, получает урожай F с затратами $C_f(F, x)$, зависящими от F и x; его прибыль π будет максимальной, когда $p_f = dC_f / dF$, поскольку он не может управлять загрязнением.

Если бы завод и ферма принадлежали одному и тому же владельцу, лучший результат был бы получен при максимальной сумме $\pi_s + \pi_f$, т. е. при

$$dC_s / dx + dC_f / dx = 0.$$

В этом случае предельные издержки сокращения выбросов рассматривались бы как внутренние затраты.

Поэтому правительство, заботясь об интересах всего общества, должно обеспечивать адекватную защиту окружающей природной среды.

Политика контроля загрязнений

Существует ряд методов, с помощью которых правительство может уменьшить уровень загрязнения. Они включают экономические инструменты, такие как налоги на загрязнение или стимулирование снижения загрязнения, и регулирующие инструменты, такие как стандарты на выбросы.

Многие правительства приняли принцип «загрязнитель платит», т. е. фирма, загрязняющая среду, должна оплатить комплекс мер, необходимых для достижения требуемых стандартом условий окружающей среды; таким образом, эти затраты станут внутренними затратами фирмы и отразятся на ценах ее товаров или услуг.

В принципе, если бы мы могли знать ущерб D, нанесенный загрязняющим выбросом интенсивности x, и стоимость его сокращения C, экономический оптимум величины x соответствовал бы минимальным общественным затратам $C + D$, что имеет место, когда предельные издержки $C_m(x)$ равны предельному ущербу $D_m(x)$. Этот оптимум мог бы быть достигнут либо добавлением к первоначальным предельным издержкам C_{m0} такого налога t, чтобы

$$C_{m0} + t = D_m,$$

либо принятием стандарта, вынуждающего фирму ограничить x на приемлемом уровне.

Эти решения были бы просты и справедливы, если бы все фирмы имели одинаковую структуру производства, включая загрязнение и затраты, и если бы предельные издержки и ущерб были известны. Обе системы требуют контроля выбросов и использования юридических полномочий и адекватных ресурсов, которые приведут к меньшим общественным затратам, чем выгода от снижения загрязнения.

Функции стоимости ущерба

Определение оптимальных условий загрязнения требует определения функции стоимости ущерба. Процедура включает сначала оценку физического влияния загрязняющих факторов, а затем их оценку в денежных единицах.

Физические влияния должны определяться в понятиях рода загрязнений, давления, оказываемого ими на человека или природную среду, и вытекающего из этого ущерба и т.д. Это нелегкая задача, так как многие воздействия не могут быть полностью распознаны, будучи замаскированными случайностями и естественным фоном.

Оценить ущерб в денежной форме также затруднительно из-за отсутствия рынков для товаров окружающей среды, например чистого воздуха, а также потому, что расчет должен быть выполнен на длительное время вперед.

После принятия Киотского протокола такое в будущем возможно.

Некоторые оценки основаны на концепциях *WTP* (*wiling to pay*) – готовности потребителя заплатить некоторую сумму за обеспечение наличия товара или на *WTA* (*wiling to accept*) – желании его получить некоторую сумму компенсации за лишение того же товара.

Имеется много методов оценки ущерба для человека (например, основанный на потере заработка в случае болезни), для растительности (основанный на возможном урожае), для собственности (основанный на различных рыночных оценках) и так далее.

Кроме прямого ущерба из-за потери прибыли должны рассматриваться и другие аспекты:

- аспект, связанный с будущими выгодами, которые могли бы быть получены следующими поколениями;

- аспект, связанный только с существованием какого-либо блага (например, вида китов), независимо от выгод, которые от этого можно получить.

Воздействие на местность

Особый случай влияния на окружающую среду – воздействие, которое новая электростанция (с линиями передачи) произвела бы на местность, где она будет построена. Возможно применение обычных формул для определения стоимости участков местности в каждой части системы: участков, где будут построены станция, мачты линий передачи и т.д.

Для каждого типа местности (сельского, городского, индустриального, коммерческого и т.д.) определяется ценность V единицы поверхности и определяются штрафы p $(0 < p < 1)$, устанавливаемые по сокращению использования участка или ухудшению его вида; при применении штрафа p_1 ценность уменьшается до $V(1 - p_1)$; если присутствует второй штраф p_2, это еще более снижает ценность – до $V(1 - p_1)\cdot(1 - p_2)$ и так далее. Таким образом, общая ценность участка площадью S будет равна произведению SV, умноженному на все коэффициенты $(1 - p_1)$, связанные со штрафами p_1.

Снижение ценности обследованных территорий может быть учтено в возможных альтернативных планах для поиска решения с минимальной общей стоимостью с точки зрения внутренних и внешних затрат.

Пример

В [12] предложена методика расчета экологической выгоды (положительных последствий) за счет энергосберегающей политики в регионе (области, республике) России, которая позволяет с достаточной степенью точности выполнять численные решения рассматриваемых задач.

Масштабы экологического влияния можно выразить в виде энергоэкологического индекса экономической (производственной) системы, причем величина этого индекса рассматривается как доля снижения расхода первичных энергоносителей за рассматриваемый период. Отсюда появляется возможность оценки снижения (роста) объемов загрязняющих веществ через удельные показатели их выбросов в атмосферу, сбросов в поверхностные водные объекты и др.

Согласно проведенным расчетам для промышленного региона (Свердловская область) снижение расхода первичного топлива на 1 млн. т у.т. снижает вредное экологическое воздействие на окружающую среду, эквивалентное примерно 7 млрд. руб.

Под положительными последствиями понимается разница в ущербе для здоровья населения и окружающей среды между двумя вариантами развития энергопотребления в экономике Свердловской области (предотвращенный ущерб).

Исходные данные: Расчеты потребности Свердловской области в первичном топливе на период до 2015 года выполнены в двух вариантах (инновационном и инерционном), поэтому имеется возможность выполнить сравнительную оценку этих двух вариантов с позиций экологической выгоды для здоровья населения и оценить в стоимостном выражении возможный предотвращенный ущерб при реализации инновационного варианта. В табл. 2.3 приведены данные расчетов ученых РНЦ «Курчатовский институт» и Штутгартского университета (Германия) по оценке в стоимостном выражении удельного ущерба от трех основных загрязнителей атмосферы для условий России и ряда европейских стран.

Таблица 2.3

Оценка стоимости ущерба от основных загрязнителей атмосферы по странам, евро/т

Страна	SO_2	NO_x	Взвешенные частицы
Россия	3700	4700	3000
Австрия	9000	9000-16800	16800
Бельгия	11388-12141	11536-12296	24536-24537
Франция	7500-15300	10800-18000	6100-57000
Германия	1800-13688	10945-15100	19500-23415
Великобритания	6027-10025	5736-9612	8000-22917

В табл. 2.4 приведены удельные выбросы загрязняющих веществ при сжигании различных видов топлива.

Таблица 2.4

Удельные выбросы загрязняющих веществ

Топливо	Выбросы, кг/т у.т.; кг/Гкал теплоты; кг/(МВт·ч) электроэнергии		
	SO_2	NO_x	Пыль
Твердое (уголь)	30; 5,4; 10,5	4,57; 0,82; 1,6	10; 1,8; 3,5
Мазут	20; 3,6; 7,0	6; 1,1; 2,1	-
Природный газ	-	2,3; 0,41; 0,8	-

В табл. 2.5 приведены результаты расчетов прироста потребности в топливе за период с 2000 по 2015 гг. по вариантам.

Таблица 2.5

Потребность в топливе Свердловской области, тыс. т у.т.

Топливо	Инновационный вариант			Инерционный вариант		
	2000 г.	2015 г.	Прирост	2000 г.	2015 г.	Прирост
Природный газ	17950	23800	5850	17950	23800	5850
Нефтепродукты	3060	8000	4940	3060	12000	8940
Твердое топливо (уголь)	15180	40700	25520	15180	72200	57020

Расчет ожидаемого экологического ущерба от увеличения потребления топлива за период до 2015 года

Схемы расчета без учета влияния пылеулавливающих устройств.

1. Инновационный вариант

Расчет прироста выбросов загрязняющих веществ (произведение величины удельных выбросов на величину прироста топливопотребления: $\Delta B = \gamma \cdot \Delta T$), табл. 2.6.

Таблица 2.6

Прирост выбросов загрязняющих веществ в период до 2015 г., т

Топливо	SO_2	NO_x	Пыль
Газ природный	-	2,3·5850=13455	-
Нефтепродукты	20·4940=98800	6·4940=29640	-
Твердое топливо (уголь)	30·25520=765600	4,57·25520=116626	10·25520=255200
Итого	864400	159721	255200

2. Инерционный вариант

Расчет прироста выбросов загрязняющих веществ (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Прирост выбросов загрязняющих веществ в период до 2015 г., т

Топливо	SO_2	NO_x	Пыль
Газ природный	-	2,3·5850=13455	-
Нефтепродукты	20·8940=178800	6·8940=53640	-
Твердое топливо (уголь)	30·57020=1710600	4,57·57020=260581	10·57020=570200
Итого	1889400	327676	570200

Расчет возможного предотвращенного экологического ущерба (разница между величиной прироста выбросов инерционного и инновационного вариантов).

Величина возможного предотвращенного ущерба, т:

SO_2 = 1889400-864400=1025000,

NO_x = 327676-159721=167955 (168000),

Пыль = 570200-255200=315000.

Расчет стоимостного выражения возможного предотвращенного экологического ущерба (произведение величины стоимостного выражения удельного ущерба и количественной величины возможного предотвращенного экологического ущерба).

Стоимостная оценка возможного предотвращенного ущерба, евро:

$SO_2 = 3700 \cdot 1025000 = 3792500000 = 3792{,}5 \cdot 10^6$,

$NO_x = 4700 \cdot 168000 = 789600000 = 789{,}6 \cdot 10^6$,

Пыль $= 3000 \cdot 315000 = 945000000 = 945 \cdot 10^6$

Итого: $(3792{,}5 + 789{,}6 + 945) \cdot 10^6 = 5527{,}1 \cdot 10^6$.

Выводы:

Таким образом, величина стоимостного выражения возможного предотвращенного ущерба составит в 2015 году 5,5 млрд. евро. При пересчете в российскую валюту по курсу на начало 2005 года эта величина составит: 5,5·37=203,5 млрд. руб. Если принять, что ***использование пылеулавливающих и других природоохранных мероприятий позволяет по оценке улавливать 95,5 % пылевидных выбросов, 56 % выбросов оксидов серы и 3 % оксидов азота,*** то величина возможного предотвращения ущерба может составить, евро:

$SO_2 = 0{,}44 \cdot 3792{,}5 \cdot 10^6 = 1668{,}7 \cdot 10^6$,

$NO_x = 0{,}97 \cdot 789{,}6 \cdot 10^6 = 765{,}9 \cdot 10^6$,

Пыль $0{,}045 \cdot 945 \cdot 10^6 = 42{,}5 \cdot 10^6$,

Итого: $(1668{,}7 + 765{,}9 + 42{,}5) \cdot 10^6 = 2477{,}1 \cdot 10^6$.

Следовательно, величина возможного предотвращенного ущерба с учетом природоохранных мероприятий в 2015 г. может составить 2,5 млрд. евро или 91,5 млрд. руб.

Контрольные вопросы

1. Основные виды невозобновляющихся ресурсов.
2. Какие из возобновляющихся источников энергии наиболее перспективны?
3. Как вы оцениваете энергетический потенциал России?
4. Объемы потребления энергоресурсов в мире и России.
5. Что надо сделать, чтобы сохранить легкодобываемые энергоресурсы для будущих поколений?
6. Какую роль играет энергия в жизни каждого из нас?

3. Устойчивое развитие

Биосфера – территория активной жизни на Земле

3.1. Учение В.И. Вернадского о биосфере

Биосферой В.И.Вернадский назвал оболочку Земли, в пределах которой сосредоточено все живое вещество планеты. В этом плане он различал газовую (атмосфера), водную (гидросфера) и каменную (литосфера) оболочки земного шара как составляющие биосферы, области распространения жизни. В.И.Вернадский определил, что в развитии земной коры исключительную, ведущую роль играли живые организмы. Живое вещество выполняет роль передаточного звена между космосом и Землей. При этом живое вещество аккумулирует энергию космоса, трансформирует ее в энергию земных ресурсов (химическую, механическую, тепловую, электрическую), непрерывно обменивается веществом с косной (неживой) материей, обеспечивая образование нового живого вещества и определяя тем самым эволюцию биосферы. Из основных функций живого вещества приведем здесь энергетическую функцию, которая выполняется, в основном, растениями. В основе этой функции лежит процесс фотосинтеза, т. е. аккумулирование земными растениями солнечной энергии и дальнейшее ее перераспределение между остальными компонентами биосферы. Часть энергии накапливается в отмершей органике, образуя залежи биогенного вещества (торфа, угля, нефти), а часть рассеивается в пространстве в виде тепла.

Появление человека на Земле привело к тому, что специфическая оболочка Земли – биосфера – начинает преобразовываться, поверхность земного шара, ее природные оболочки подвергаются активному вмешательству и переустройству в интересах человека, как правило, через то, что называется «обычным капиталом». Интенсивность наращивания капитала

увеличивается по мере перехода от системы приемов хозяйственной практики к глобализации экономики, «совершенствования» управленческих решений и др. При этом идет постоянный поиск новых источников энергии с использованием ограниченных по своим запасам традиционных ее видов, наращивание единичных мощностей и концентрирование энергоисточников на ограниченной территории.

В общем виде эту новую стадию в эволюции биосферы В.И. Вернадский назвал ***ноосферой*** – «сферой разума». По его мнению, речь идет не о предстоящем уничтожении биосферы, а о преобразовании и дальнейшем развитии ее под влиянием прогрессивной антропогенной (с участием человека) деятельности и превращении в ноосферу. Это высшая стадия развития биосферы, связанная с возникновением и становлением в ней цивилизованного общества, с периодом, когда разумная деятельность человека становится главным определяющим фактором развития. Среди функций ноосферы следует выделить функции, призванные служить сохранению и развитию здоровья человека, благополучия всего человечества. Решение данных задач возможно только при широком использовании интеллектуального человеческого капитала. Как уже было показано в гл. 2, интеллектуальные возможности цивилизации напрямую зависят от энергетических возможностей человечества, и не только от количества и вида энергии, но и от способности людей целенаправленно перераспределять энергетические и сырьевые потоки. «Человеческий разум не является формой энергии, а производит действия, как будто ей отвечающие», - писал В.И. Вернадский. Настало время перехода человеческого разума от идеи «покорения природы» к новой идее «рационального природопользования через энергосбережение» [15]. Очевидно, только при таком подходе возможно познать и рационально использовать внутренние законы развития ноосферы.

3.2. Особенности устойчивого развития

Выводы ученых, а также многочисленные программные документы международных организаций свидетельствуют о том, что многие параметры экономического и популяционного роста остаются практически бесконтрольными, не обеспечивают сбалансированного решения социально-экономических задач в пределах природно-ресурсного потенциала биосферы, и «стерилизованный» – конкретно не привязанный – человеческий капитал в виде управленческого или экономического образования не способствует успешному решению этой проблемы. Более того, наоборот, преобладает режим перепотребления. Этим в первую очередь следует объяснить то, что человечество как развивающаяся система все чаще и чаще сталкивается с кризисными ситуациями, многие из которых носят межгосударственный характер. Называется обычно несколько причин, способных привести к столь печальным последствиям [13].

1. Возросшие масштабы производства, качественно изменившие влияние промышленных выбросов на окружающую среду. Они перестали носить локальный характер. Можно говорить не о локальных, а глобальных нарушениях природного равновесия.
2. Сохраняющаяся, и даже возрастающая, степень опасности складов ядохимикатов, вооружений, захоронений отходов, в том числе радиоактивных, что приводит к возможности возникновения аварий, взрывов или пожаров. Все это может иметь дополнительные катастрофические последствия.
3. Возрастающий прирост численности населения Земли (в основном, в слаборазвитых странах) в сочетании со значительным различием в уровнях потребления сырьевых ресурсов, топлива, энергии, продуктов питания в странах с развитой и слаборазвитой экономикой. Согласно разным оценкам, примерно 25 % населения Земли потребляет до 80 % всех добываемых в мире ресурсов.

Для того чтобы довести условия жизни во всех странах мира до уровня стран с развитой экономикой, добычу ресурсов, энергии следует увеличить в несколько раз, т. е. следует предвидеть дальнейшие негативные последствия для биосферы. Считается, что природа способна воспроизводить изъятые у нее биологические ресурсы, если изымается не более 1 % имеющегося их количества. По оценкам, этот предел превзойден на Земле более чем на порядок. Следовательно, для многих источников и стоков, важных для мировой экономики, выход за пределы уже произошел, и возникла необходимость изменения самого характера развития общества, структуры его ценностей. Хотелось бы в связи с этим понять роль и место России во всех этих процессах.

В основе современной мировой системы (сферы разума) лежат не только технический прогресс, монополизация капитала, транснациональные корпорации, а также финансовый капитал. Именно он во многом определяет потоки деловой активности. Причем объемы финансовых сделок резко опережают объемы реальной торговли. Образно говоря, параллельно со сферой разума формируется своеобразная финансовая сфера, которая, в первую очередь, руководствуется собственными интересами. И быть вне этих интересов не может себе позволить ни одна страна на Земле. Вопрос в том, как это сделать наиболее безболезненно и занять достойное положение в этом мире. В настоящее время обычная рыночная конкуренция во многом отступает на второй план. Основу составляют картельные соглашения о разделении мирового дохода - не столько рынков сбыта и даже не соглашения о шкале цен, сколько мирового дохода в целом.

Наша страна в этом процессе пока полноценно не участвует. И Россия (вот уже который раз) стоит перед выбором возможного сценария своего развития. Тот сценарий, который был выбран на последнее десятилетие XX века, способствовал развитию крайне нежелательных тенденций с утратой интеллектуального и культурного потенциала страны, превращения ее в сырьевую базу и источник дешевой рабочей силы для развитых стран

Запада и Востока. В экономическом плане однобоко развиваются топливно-энергетический и сырьевой комплексы при постоянном оттоке капиталов за рубеж и укреплении финансовой зависимости от международной финансовой элиты.

Выход из этой опасной зоны, из состояния с возможными необратимыми катастрофическими последствиями – в построении и реализации своей национальной модели «устойчивого развития», т. е. стабильного социально-экономического развития, не разрушающего своей природной основы.

Понятие «устойчивое развитие» появилось в начале 70-х годов и получило широкое распространение в мире после опубликования в 1987 г. Международной комиссией по окружающей среде и развитию (МКОСР) доклада «Наше общее будущее». В нем же дано определение «устойчивого общества» как общества, удовлетворяющего нужны сегодняшнего поколения, не лишая при этом будущие поколения возможности удовлетворять их собственные нужды.

Устойчивость не предполагает отсутствие роста. Общество, одержимое навязчивой идеей постоянного роста, воспринимает любую критику роста как полное его отрицание. Устойчивое общество должно быть заинтересовано в качественном развитии, а не в физическом росте. Материальный рост в нем - обдуманное средство, а не вечное право. В устойчивом обществе нищета не может и не должна символизировать устойчивость. По моральным и практическим причинам любое устойчивое общество должно обеспечивать материальный достаток и гарантии для всех. Устойчивому миру понадобятся свои правила, законы, стандарты, границы и, конечно, социальные соглашения, как и любой человеческой культуре. Ряд правил должен отличаться от тех, которыми люди руководствуются сегодня. Некоторые виды такого контроля уже существуют, например международное соглашение по озоновому слою, соглашение по ограничению выбросов парниковых газов и др. Таким образом, устойчивое развитие

может рассматриваться как реализация стратегии выживания и непрекращающегося развития отдельной страны и цивилизации в целом в условиях сохранения биосферы с переходом в ноосферу (сферу разума). Конечно, такой переход, если он и возможен практически, неизбежно приведет к возникновению ряда новых противоречий в обществе.

3.3. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию

Данная концепция разработана и принята Указом Президента РФ от 01.04.96 г. Правительству РФ при этом поручено учитывать положения данной концепции при разработке прогнозов развития, подготовке нормативных и иных решений. Приведем здесь основные положения настоящей Концепции.

Отмечается, что устойчивое развитие – объективное требование времени и его конечная цель – постепенное восстановление естественных экосистем до уровня, гарантирующего стабильность окружающей среды. И достижение этой цели возможно только через полный отказ от нынешнего стереотипа мышления, пренебрегающего ограниченными возможностями биосферы, требованиями экологической безопасности.

Часть России, где проживает половина населения, характеризуется как экологически неблагоприятная. Предполагается, что рыночные механизмы в сочетании с мерами государственного регулирования должны сформировать экономические стимулы бережного отношения к природным ресурсам и окружающей среде для субъектов хозяйственной деятельности.

Из тех задач, которые надо решить при переходе к устойчивому развитию, отметим здесь следующие:

• ввести хозяйственную деятельность в пределах емкости экосистем на основе ***массового внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий***, целенаправленных изменений структуры экономики, структуры личного и общественного потребления;

• добиться коренного улучшения состояния окружающей среды за счет экологизации экономической деятельности.

Из направлений перехода России к устойчивому развитию отметим:

• формирование эффективной системы пропаганды идей устойчивого развития и создание соответствующей системы воспитания и обучения;

• оценка хозяйственной емкости локальных и региональных экосистем страны, определения допустимого антропогенного воздействия.

Рассмотрен в Концепции и региональный аспект устойчивого развития, который предполагается формировать посредствам учета местных условий, в том числе:

• реконструкция региональной промышленной системы с учетом хозяйственной емкости локальных систем;

• развитие сельского хозяйства на основе экологически прогрессивных агротехнологий, адаптированных к местным условиям;

• осуществление мер по оздоровлению населения, развитию социальной инфраструктуры.

Для управления процессом перехода к устойчивому развитию и оценки эффективности используемых средств предлагается устанавливать целевые ориентиры и ограничения с обеспечением процедуры контроля за их достижением (соблюдением).

К основным критериям качества жизни предлагается отнести: продолжительность жизни человека (ожидаемая при рождении и фактическая), состояние его здоровья, отклонения состояния окружающей среды от нормативов, уровень знаний или образовательных навыков, доход (измеряемый валовым внутренним продуктом на душу населения), уровень занятости, реализацию прав человека.

В качестве целевых и лимитирующих показателей и параметров устойчивого развития в экологической сфере предлагаются:

- уровни удельного (на душу населения и единицу валового внутреннего продукта) потребления энергии и других ресурсов, а также выхода выбросов, сбросов и отходов;
- показатели качества атмосферы, вод, территорий, находящихся в естественном и измененном состоянии и др.

Несомненно, проблема устойчивого развития – это проблема России в целом и ее регионов.

Типичный пример – старопромышленные районы, где особенно заметно отрицательное антропогенное воздействие: нарушение земель горными разработками; загрязнение атмосферы, воды, почв; утрата продуктивных земель; деградация лесных массивов; радиоактивные загрязнения. За последнее десятилетие структура экономики еще более деформировалась - возросла доля топливно-сырьевого сектора более чем до 30 %, сфера обслуживания также около 30 %, отдельные виды производства практически прекратили свое существование. Наблюдается резкая поляризация доходов богатых и бедных, произошло падение престижа профессий, связанных с интеллектуальной, да и производственной деятельностью, и др.

При таких исходных условиях у России больше шансов превратиться в приусадебный «огород» или ресурсную «кладовую» развитых стран, нежели в страну массового использования энерго- и ресурсосберегающих технологий, и ориентированную на внутренний рынок. Опыт ряда стран показывает, что реально реализовать стратегию устойчивого развития может страна, уровень экономического развития и качество жизни в которой позволяет ей существенно влиять на мировые процессы.

Иначе говоря, для России переход к устойчивому развитию возможен только через ***мобилизацию интеллекта и энергии нации.***

Контрольные вопросы

1. Что отличает ноосферу от биосферы Земли?
2. Чем вызвана необходимость перехода к устойчивому развитию?
3. Каковы основные задачи при переходе России к устойчивому развитию?
4. В чем значение массового внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий при переходе к устойчивому развитию?

4. Эффективность использования энергии

> Второй закон термодинамики, по-моему, занимает особое место среди законов природы… Если Ваша теория противоречит второму закону, Ваше дело безнадежно.
>
> *Артур С. Эддингтон*

4.1. Энтропийный капкан

Как уже отмечалось в гл. 1, по мере поиска и освоения энергии был сформулирован первый закон термодинамики (закон сохранения энергии). Согласно ему, 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 только в мышеловке). Другая особенность превращения энергии из одного вида в другой – всегда происходит снижение качества энергии, или уменьшается количество полезной энергии. Закон снижения качества энергии известен как 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, человек должен потреблять получаемые извне вещество и энергию высокого качества. Использовав 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 окру-

жающей 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) – см. форм. (1.1), табл. 1.1 в разд. 1.3 данного учебника.

4.2. Виды потерь энергии

Если мы будем рассматривать промышленные предприятия как систему (рис. 4.1), то можем установить, что, с одной стороны, имеются затраты энергии, сырья и труда, а с другой стороны - выпуск продукции, выход вторичных энергоресурсов и материалов. На практике можно ограничиться выпуском продукции, а вторичную энергию и материалы можно не

использовать, что нередко и наблюдается в реальной жизни. Это первый вид потерь энергии.

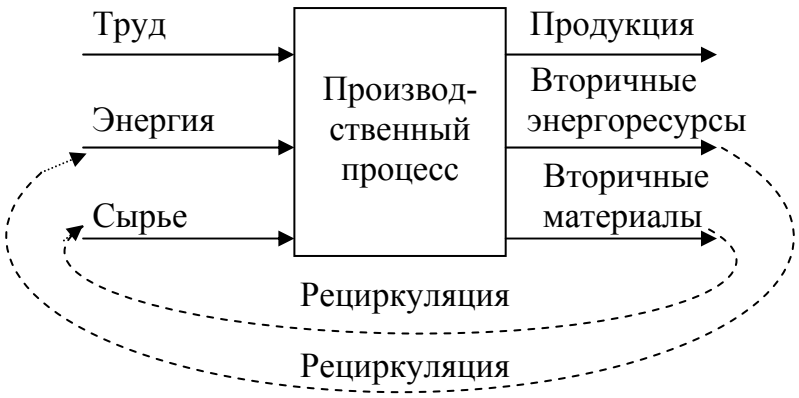


Рис. 4.1. Схема промышленного производства

Непосредственно в производственном процессе может использоваться различное оборудование для реализации конкретных промышленных процессов (рис. 4.2), эффективность которых в зависимости от уровня температуры изменяется от 10 до 70 %. Это как бы второй вид потерь энергии. КПД многих технологических процессов можно повысить за счет улучшения использования топлива на каждой стадии производства продукции, применения специальных устройств для производства энергии из вторичных энергоресурсов. Но, не рассматривая здесь экономические, инвестиционные и тому подобные возможности, отметим только, что вид и состояние используемой технологии пока еще не всегда способствуют реализации такой возможности. Поясним это на примере обогрева хорошо изолированного дома. При его обогреве за счет поступления прямой солнечной радиации через обращенные к солнцу окна потери тепла составляют не более 10 %, т.е. если есть такая климатическая и техническая возможность, то, используя солнечную радиацию, поступающую естественным путем или улавливаемую специальными устройствами, можно получить нужное количество тепловой энергии для отопления без значительных потерь в окружающую среду (5-10 %).

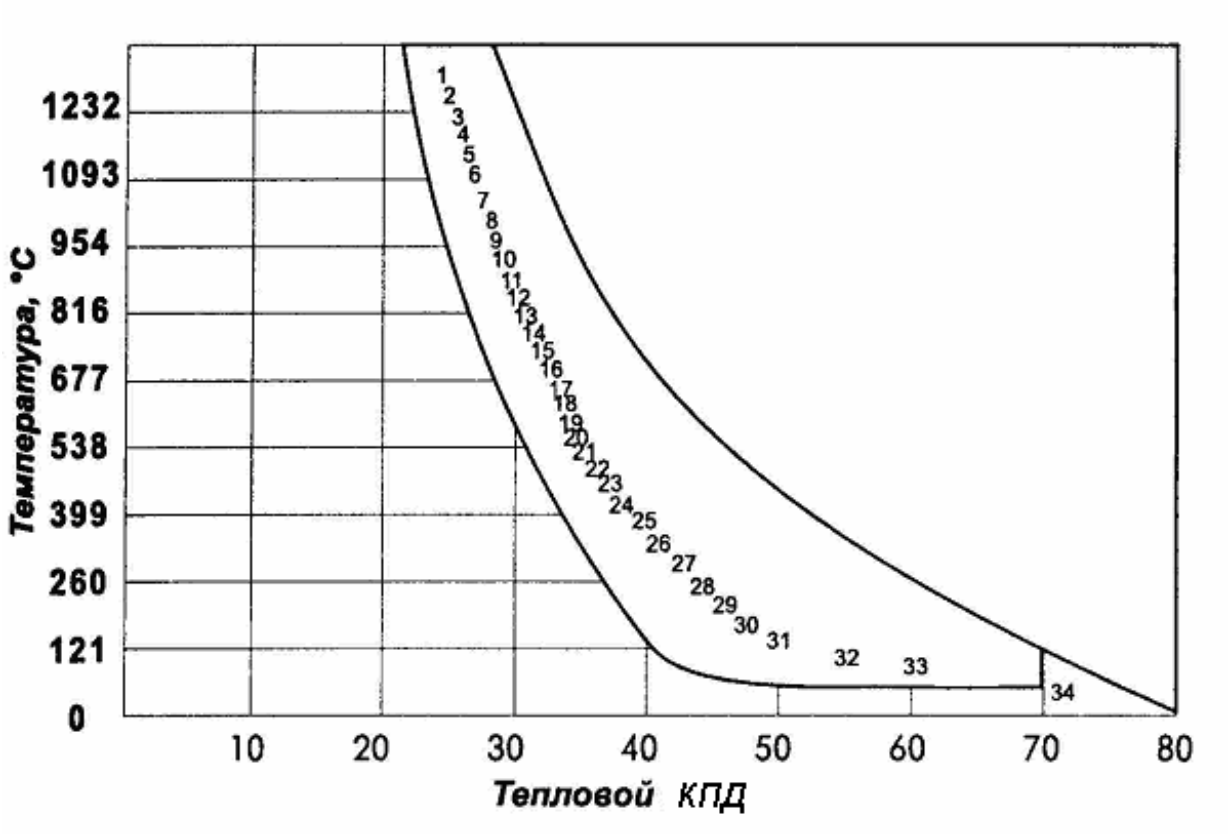


Рис. 4.2. Тепловые КПД для различных промышленных процессов:

1 - ковка и штамповка; 2 – медеплавильные печи; 3 – плавка латуни; 4 – закалка высокопрочной стали; 5 – печи для нагрева заготовок; 6 – печи для фьюмингования цинка; 7 – печи для сжигания мусора; 8 – цементация; 9 – мартеновские печи, работающие с вдуванием кислорода; 10 – нормализация; 11 – эмалирование стекловидными эмалями; 12 – снятие напряжений; 13 – окисление аммиака; 14 – отжиг; 15 – плавка алюминия; 16 – обжиг цементного клинкера; 17 – мартеновские печи, работающие на воздушном дутье; 18 – выхлоп дизельного двигателя; 19 – нефтехимический синтез; 20 – цинкование; 21 – выхлоп газовых турбин; 22 – термическая обработка на твердый раствор алюминия и магния; 23 – обжиг цементного клинкера (мокрый процесс); 24 – нагрев алюминия под прокатку; 25 – лужение; 26 – сушка стержней; 27 – отпуск; 28 – дисперсное твердение алюминия и магния; 29 – горячая сушка изоляционных лаков; 30 – отвердение пластмасс; 31 – вулканизация резины; 32 – производство химических продуктов; 33 – подогрев воды; 34 – бытовые приборы

При обогреве того же дома за счет использования электроэнергии, выработанной на АЭС, подаваемой по линии электропередач и превращенной в тепловую форму (теплоту сопротивления), потери тепла составляют 86 %.

Составляющие тепловых потерь: при добыче урана – 5 %, обогащении и перевозке урана – 41 %, электростанции – 37 %, при передаче электроэнергии – 3 %. Получается, что превращение высококачественной энергии, извлекаемой из ядерного топлива, в тепловую энергию с температурой в несколько тысяч градусов и далее в высококачественную электроэнергию, а затем целевое использование этой энергии для поддержания температуры в доме на уровне 18-20 ^{0}C является расточительным процессом.

На основе зарубежных данных на рис. 4.3 показаны соотношения коэффициентов полезного действия энергии, получаемой из различных источников и используемой для отопления. Согласно этим данным, наилучшим способом отопления, особенно в районах с холодным климатом (т. е. в условиях России), является строительство зданий, абсолютно изолированных от внешней среды. Подобные здания должны быть настолько герметичны, что даже в тех районах, где температура воздуха зимой падает до – 40 ^{0}C, отопление всех помещений можно производить за счет прямого поступления солнечной энергии (около 59 %), электроприборами (33 %) и вследствие излучения тепла находящимися внутри этого здания людьми (8 %). Из приведенных данных следует также, что использование прямой солнечной энергии – это один из наиболее эффективных и дешевых способов обогрева помещений жилищ, который применяется человеком в той или иной форме на протяжении тысячелетий. Еще один, относительно новый, высокоэффективный способ отопления – отопление за счет сжигания природного газа (контактные водонагреватели, специальные горелки и т.п.). Интересно также мнение западных специалистов по использованию тепловых насосов – агрегатов, способных утилизировать сбросную низкопотенциальную теплоту с температурой от 30 ^{0}C, по принципу работы которые аналогичны обычному бытовому холодильнику, но при этом тепловой насос должен отдавать как можно больше тепловой энергии, например, системе отопления. Опыт показал, что отапливать помещение с помощью теплового насоса выгодно, пока температура воздуха снаружи не опустится

ниже – 15 ^{0}C, когда тепло начинает производиться за счет электрического сопротивления, а это уже, как показано выше, весьма затратно.

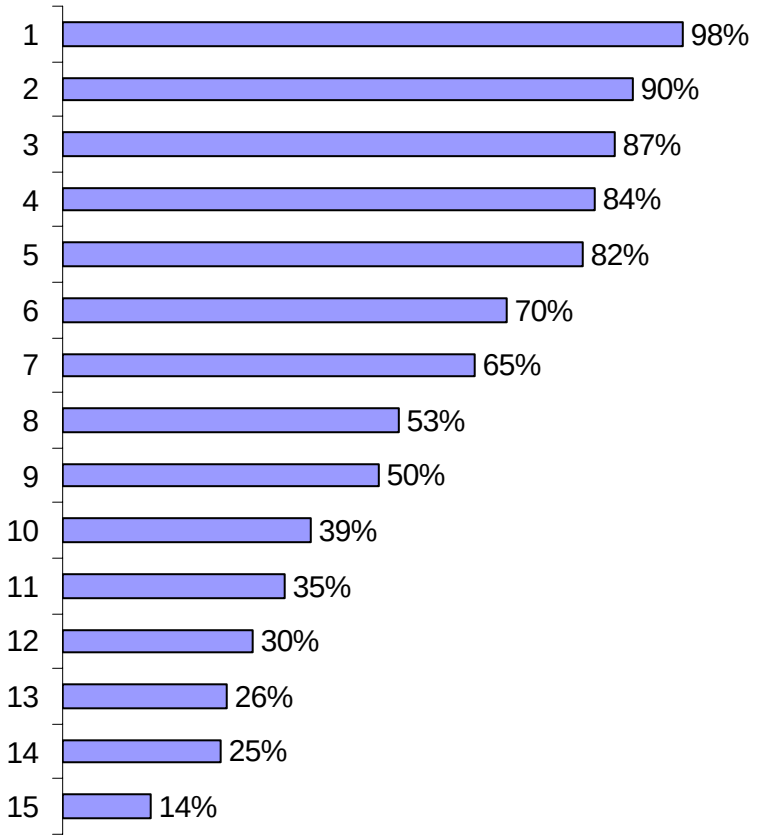


Рис. 4.3. Практические КПД при различных способах отопления закрытых помещений (домов):
1– абсолютно герметичный дом (100 % теплоснабжения); 2 – прямое солнечное излучение (100 % теплоснабжения); 3 – прямое солнечное излучение (50 % теплоснабжения) плюс высокоэффективное газовое теплоснабжение; 4 – высокоэффективное газовое теплоснабжение; 5 – отопление за счет электрического сопротивления (электроэнергия вырабатывается на ГЭС); 6 – обычное газовое теплоснабжение; 7 – прямое солнечное излучение (50 % теплоснабжения) плюс высокоэффективная дровяная печь (50 %); 8 – нефтяное отопление; 9 – электрический тепловой насос (электроэнергия вырабатывается на угольной электростанции); 10 – высокоэффективная дровяная печь; 11 – активная солнечная энергия; 12 – электрический тепловой насос (электроэнергия вырабатывается на АЭС); 13 – обычная дровяная печь; 14 – теплоснабжение за счет электрического сопротивления (электроэнергия вырабатывается на угольной электростанции); 15 – теплоснабжение за счет электрического сопротивления (электроэнергия вырабатывается на АЭС).

Отсюда можно определить как бы третий вид потерь энергии – нецелесообразное использование высококачественной энергии для выполнения тех задач, которые можно выполнить с помощью низкокачественной энергии. Попробуем сформулировать «золотое» правило энергетики: ***качество выбираемого типа энергии должно соответствовать поставленным задачам,*** или, иными словами, ***чем больше количество ступеней в процессе преобразования энергии, тем ниже ее практический КПД.***

Несомненно, могут быть исключения из указанного здесь правила. Но, по нашему мнению, чем мощнее источник высококачественной энергии и чем дальше от него расположены потребители энергии, тем более при относительно низкой температуре требуемого для них тепла, именно данным правилом следует руководствоваться при выборе варианта энергообеспечения объекта как промышленного, так и коммунального назначения. Отсюда вытекают несколько следствий:

- концентрирование производства высококачественной энергии на крупных источниках вступает в противоречие со вторым законом термодинамики;
- чем выше мощность источника энергии, тем выше его энтропийный потенциал;
- любая централизация энергообеспечения (централизованные системы теплоснабжения, единая энергетическая система и т.д.), несмотря на все преимущества, способствует росту масштабов беспорядка в окружающей среде.

Еще одна особенность нашего современного общества - масштабное и повсеместное использование устройств с громадными потерями энергии:

- лампы накаливания (КПД 5 %, соответственно потери энергии 95 %);
- машина или трактор с двигателем внутреннего сгорания (КПД 10 % от энергии, заключенной в горючем);
- высокотемпературная ковка металла в кузнице (КПД 12 %);

- строительство плохо изолированных домов, где тепло может удерживаться не более нескольких минут;

Ситуация усложняется еще тем, что сооружаются сотни тысяч паровых котельных, которые могли бы при незначительных дополнительных инвестициях быть мини-ТЭС с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии (метод когенерации). В этом случае не потребовалось бы строительства в России, по крайней мере, 100 крупных ТЭС и ТЭЦ, а может быть, и АЭС, снизилась бы стоимость электроэнергии и др.

Соответственно были созданы и сохраняются условия для увеличения количества отходов тепла и веществ, поступающих в окружающую среду и способствующих повышению ее энтропии.

Современные государства с развитой промышленностью представляют собой генераторы энтропии, «работа» которых не только снижает устойчивость окружающего мира, но и способствует ее нарушению. Для такого беспокойства есть теоретическая основа. Закон сохранения вещества можно определить следующим образом: по мере роста объемов и географии промышленного производства все большее количество людей возрастающими темпами будут наращивать использование ресурсов, способствовать загрязнению окружающей среды тепловыми и вредными отходами. В результате неизбежно способность окружающей среды рассеивать и разрушать выброшенные вещества и поглощать низкотемпературное тепло будет нарушена на всех уровнях: локальном, местном и глобальном. Не хочется, чтобы нас обвинили в каком-нибудь неомальтузианстве (учение, утверждавшее, что причина всех бед человечества есть результат «абсолютного избытка людей»).

Речь идет о том, что чем настойчивее человечество будет пытаться покорить природу, тем быстрее, согласно второму закону термодинамики, в окружающей среде накапливаются низкокачественное тепло и отходы и, уже в соответствии с законами сохранения вещества и энергии, тем раньше мы достигнем пределов своего роста, конкретные параметры которых оп-

ределяются возможностями природы воспроизводить изъятые у нее биологические ресурсы.

Основываясь на тех же физических законах, описывающих поведение энергии и вещества, следует считать наиболее перспективной моделью обеспечения устойчивого развития общества, сохранения окружающей среды и ее ресурсов снижение энтропии при обеспечении принципов, с помощью которых осуществляется устойчивое развитие живых организмов в природе.

Реализация данной модели развития общества заключается главным образом в том, что количественное увеличение энергетического бюджета каждого человека общество должно обеспечивать при все меньших удельных затратах энергии:

- уменьшении затрат энергии на единицу валового внутреннего продукта;
- экономном использовании тепла для промышленных нужд и отопления;
- исключении применения без особой необходимости высококачественных видов энергии;
- переходе к производству продукции более удобной для повторного использования и ремонта;
- вовлечении в оборот возобновляемых источников энергии и др.

Причем история развития современного общества показывает, что введение ограничений потерь энергии и ресурсов и недопущение нежелательных входных воздействий в природную среду с позиций термодинамики и экономики оказывается более оправданным подходом, чем контроль последствий и исправление случившегося. Отсюда следует, что энергетическую эффективность можно рассматривать как ***ресурс.*** За счет уменьшения количества используемой энергии сокращаются необходимые для новых энергоисточников инвестиции или же появляется возможность закрыть убыточные и/или опасные для шахтеров угольные шахты. И если

объемы экспорта первичной энергии из России будут в основном ограничиваться величинами сэкономленного за счет энергосбережения топлива, то наши потомки вряд ли будут к нам в претензии за расточительное отношение к имеющимся запасам органического топлива.

Иными словами, энергосбережение есть объективная реальность. И именно через энергосбережение в долгосрочной перспективе наилучшим вариантом решения проблем устойчивого развития является переход к ***природосберегающему*** обществу. Основой такого общества является повышение эффективности использования энергии, переход на возобновляемые ее источники, сокращение ненужных затрат и потерь энергии, рециркуляция и вторичное использование ресурсов вещества, а также сокращение производства отходов и необязательного потребления ресурсов вещества, при разработке мер по контролю роста населения.

Необходимым условием перехода на энергосберегающий путь развития является понимание каждым из нас того, что мы можем и не можем делать, используя ресурсы вещества энергии, и умение ответственно реализовать эти знания в своей жизни.

4.3. Некоторые особенности энергопотребления в России

В нашей стране есть ряд объективных (природных) факторов, способствующих росту удельных объемов энергопотребления. Основные из них – климатические условия, более высокие транспортные издержки. Остановимся более подробно на климатических условиях.

Климатические условия можно оценить коэффициентом суровости климата (градусо-сутки отопительного периода), равным произведению разности температуры внутреннего воздуха в отапливаемом помещении ($t_в$) и средней температуры наружного воздуха за отопительный период ($t_{от.пер}$) на продолжительность отопительного периода ($Z_{от.пер}$):

$$D_{\text{d}} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от.пер}}) \cdot Z_{\text{от.пер}}. \qquad (4.1)$$

Нормативный коэффициент суровости климата для конкретной местности (города и т.д.) можно определить, исходя из показателей строительной климатологии, СНиП 23-01-99. С учетом данных настоящего нормативного документа коэффициент суровости климата для города Екатеринбурга составит

$$D_{\text{d}} = [20 - (-6)] \cdot 230 \approx 6000 \text{ градусо-суток.}$$

Сопоставим коэффициенты суровости климата для ряда стран и отдельных регионов России (табл. 4.1).

На основании данных табл. 4.1 можно принять, что по климатическим условиям удельные показатели расхода энергии на теплоснабжение, а также на некоторые виды технологических процессов (нагрев, сушка и т.п.) примерно в 1,5 раза выше, чем в большинстве европейских стран, и в 1,85 раза выше, чем в США.

Фактически эти показатели в России, по многочисленным литературным и официальным статистическим данным, значительно выше. Чем это можно объяснить?

Таблица 4.1

Показатели суровости климата (применительно к жилым зданиям), градусо-суток

Страна, город	Коэффициент суровости климата	Страна	Коэффициент суровости климата
Россия	5000	Швеция	4020
Москва	5027	США	2700
Екатеринбург	6000	Германия	3165
Верхоянск	12290	Финляндия	4200
Якутск	10620	Канада	5000
Омск	6500		
Самара	5010		
Астрахань	3400		
Краснодар	2500		

Приведем в табл. 4.2 данные по объемам производства и потребления тепловой изоляции с использованием литературных данных и результатов собственных расчетов.

Таблица 4.2

Показатели производства тепловой изоляции

Страна, город	Коэффициент суровости климата, град.·сут.	Производство тепловой изоляции, $м^3$/1000 жителей	Коэффициент энергетической озабоченности нации
Россия	5000	90	~ 0,1
Екатеринбург	6000	120 (2001 г.)	0,11
Швеция	4020	600	0,8
США	2700	500	1,0

При этом следует отметить, что теплозащита зданий (т. е. свойство совокупности ограждающих конструкций, образующих замкнутый объем внутреннего пространства здания, сопротивляться переносу теплоты между помещениями и наружной средой, а также между помещениями с различной температурой воздуха) во многом определяется количеством использованной тепловой изоляции, а при равном количестве использованной изоляции - ее качеством и гидрозащитой от внешних атмосферных и других воздействий.

Согласно представленным данным, количество изделий из тепловой изоляции в России использовалось в 1995 – 1996 гг. примерно в 5 раз меньше, чем в США, и почти в 7 раз меньше, чем в Швеции.

Учитывая, что в условиях быстрорастущих цен на первичное топливо такой показатель, как теплозащита зданий, определяет коммунальные расходы населения, тем более в таких странах, как Россия с ее климатическими показателями (табл. 4.1), введем новый показатель. Назовем его коэффициентом энергетической озабоченности нации – $К_{э.о}$.

Примем за единицу этот показатель в США. Соответственно в других странах (территориях) этот коэффициент будет

$$K_{э.о} = (T_i/T_{США}) : (D_d^i/D_d^{США}), \quad (4.2)$$

где T_i, $T_{США}$ – соответственно производство тепловой изоляции в рассматриваемой стране и США, м^3/1000 жителей в год; D_d^i, $D_d^{США}$ – соответственно коэффициенты суровости климата рассматриваемой страны и США, град.·сут.

Из данных табл. 4.2 вытекает, что в нашей стране теплозащитой зданий озабочены на порядок меньше, чем в США, и в восемь раз меньше, чем в Швеции. Факторы субъективного (менталитетного) подхода к проблеме энергопотребления в нашей стране преобладают и определяют сложившийся на настоящий период расточительный характер использования энергии в коммунальной, бюджетной и ряде других сфер. Все это напрямую увеличивает экологическое воздействие на окружающую среду. В качестве примера приведем сравнительные данные по расходам топлива на отопление в России и Германии (рис. 4.4).

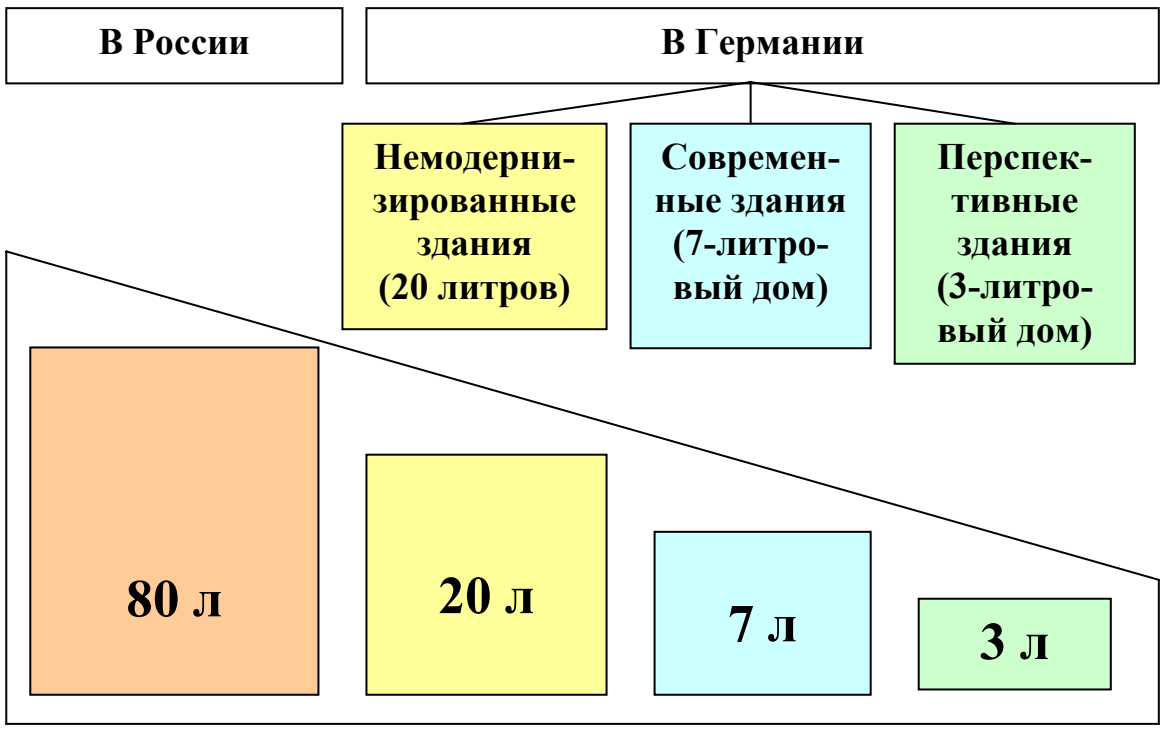


Рис. 4.4. Удельный расход топлива на отопление зданий в течение отопительного сезона, л/м^2

Особенно ощутимо данная ситуация сказывается на регионах, в которых нет собственных топливных ресурсов. К таким регионам следует отнести и Свердловскую область, где местные виды топлива в топливном балансе региона составляют менее 5 % (рис. 4.5).

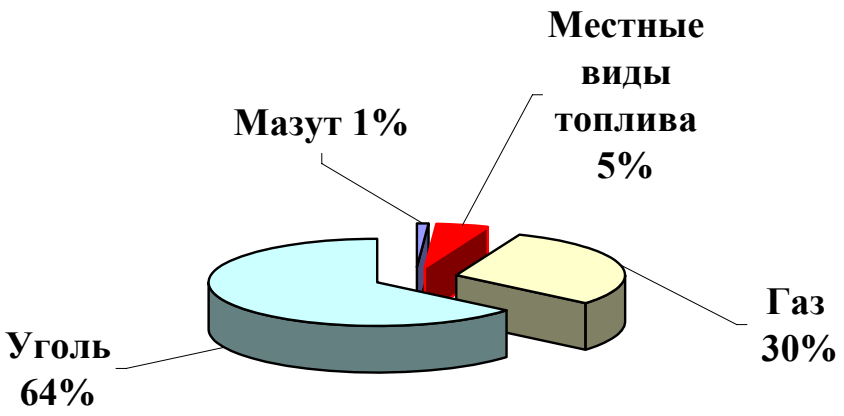


Рис. 4.5. Топливный баланс Свердловской области в 2000 г.

Контрольные вопросы

1. Как вы понимаете выражение «энтропийный капкан»?
2. С помощью второго закона термодинамики объясните, почему литр бензина можно использовать как топливо только один раз.
3. Как вы относитесь к правилу потребления энергии, что в основе любого производства и использования энергии лежит принцип повышения эффективности? Подумайте, как вы учитываете этот принцип в своей жизни.
4. Сформулируйте свое понимание того фактора, что использование электроэнергии для отопления дома и обеспечения бытовых потребностей ведет к большим потерям энергии.
5. Какие задачи и как вы бы стали решать при строительстве своего дома?
6. Согласны ли вы с тем, что необходимость построения природосберегающего общества вытекает из объективных законов природы?
7. Почему энергосбережение – объективная необходимость? Насколько, на ваш взгляд, осознана его насущная необходимость: в нашей области; в вашем городе (районе); в вашей школе?
8. Почему, на ваш взгляд, в России уделялось мало внимания теплозащите ограждающих конструкций зданий?

5. Научные основы и потенциал энергосбережения

Истиной веет ветер,
истиной сияет солнце,
все основано на истине
Древнее изречение (Индия)

5.1. Энергетические законы, закономерности, правила

Первое начало термодинамики, одно из основных положений термодинамики, является по существу законом сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам [15]:

$$Q = \Delta U + A, \qquad (5.1)$$

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

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 её среда.

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, один из основных законов 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.

Другие эквивалентные формулировки:

- невозможен переход теплоты от тела более холодного к телу более нагретому без каких-либо других изменений в системе или окружающей среде (Р. Клаузиус);
- невозможно создать периодически действующую (совершающую какой-либо термодинамический цикл) машину, вся деятельность которой сводилась бы к поднятию некоторого груза (механической работе) и соответственно охлаждению теплового резервуара (У. Томсон, М. Планк);
- невозможно построить вечный двигатель 2-го рода (В. Освальд).

Закон возрастания энтропии называют также законом снижения качества энергии, согласно которому мы не можем восстановить или повторно использовать высококачественную энергию для выполнения полезной работы. Будучи раз использованной, сконцентрированная, высококачественная энергия рассеивается в окружающей среде в виде низкопотенциального тепла. Мы можем как-то повлиять на изменение коэффициента полезного действия данного процесса.

Следовательно, 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.

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 не линейно, 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 эколого-экономического потенциала, увеличение которого возможно лишь путем значительного возрастания энергетических вложений («правило Тришкина кафтана») – см. закон снижения энергетической эффективности природопользования.

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

$$T \Sigma \Delta S_{\text{Hi}}. \qquad (5.2)$$

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: 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»[1]. Закон, по мнению Н.Ф. Реймерса, справедлив и в отношении информации.

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. *прогрессус* – движение от низшего к высшему) применительно к биологии: живое постоянно,

[1] Одум Г., Одум Э. Энергетический баланс человека и природы. М.: Прогресс, 1978. С. 72–73

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 греческого *трофи* – пища) уровня экологической пирамиды на другой потребляется в среднем 10 % энергии биомассы (или вещества в энергетическом выражении).

Закон предельного развития материальных систем: материаль-

ные системы (природные, технические и другие) 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. Следствия из этого закона: 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 века 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:

- энерговооруженность жизни в ходе эволюции должна возрастать;

- 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. кв. км.

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 (см. 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 систе-

мой 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:

$$\Delta S / \tau = (\Delta S / \tau)_{\min}. \qquad (5.3)$$

Энергетические определения

- Энергетический цикл жизни состоит в том, что электроны сначала поднимаются на более высокий энергетический уровень фотонами, а затем в живых системах падают обратно на свой основной уровень, отдавая при этом порциями свою избыточную энергию, которая приводит в действие всю машину жизни (А. Сент-Дьердьи).
- Общественная деятельность людей в процессе производства есть неэквивалентный обмен энергией с природой, в результате которого должен увеличиться энергетический бюджет общества (или соответственно негэнтропия).
- Труд есть управление энергетическими потоками окружающей человека природной среды, причем источником энергии для этого служит сама природа.
- Энтропия есть мера недостатка информации.
- Фотосинтез – это единственный на Земле естественный, самопроизвольный процесс, в котором энтропия уменьшается за счет потребления даровой солнечной энергии.

5.2. Научное обоснование энергосбережения

Формулировка основного закона развития цивилизации как обеспечение неубывающего темпа роста полезной мощности, имеющейся в рас-

поряжении общества, дает первые основания для определения меры оценки технико-экономического развития.

Представим закон сохранения мощности в возможно простой форме:

$$W = W_{\text{а}} + W_{\text{п}}, \quad \text{где} \qquad W_{\text{п}} = W_{\text{р}} + W_{\text{г}},$$

здесь W – полная мощность потоков на входе системы, т. е. полная располагаемая мощность, имеющаяся в распоряжении общества; $W_{\text{а}}$ – активная мощность на выходе системы (в данном случае это та часть располагаемой мощности, которая затрачивается целесообразно, в указанном выше смысле, на совершение внешней работы); $W_{\text{р}}$ – пассивная мощность, мощность потока потерь, эти потери определяются несовершенством техники и технологии; $W_{\text{г}}$ – 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:

$$\eta_{общ} = \frac{W_a}{W} = \frac{W - W_n}{W} \qquad W_a = \eta_{общ} \cdot W \ .$$

Условием прироста эффективности общественного производства является

$$\frac{d\eta_{общ}}{dt} > 0.$$

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 дано в разд. 1.2. Структурная эн-

тропия 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». Следовательно, 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 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 свя-

зано 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

$$S = S_{\max}. \qquad (5.4)$$

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

$$\Delta S / \tau = 0. \qquad (5.5)$$

Однако в некоторых случаях достижению системой равновесного состояния препятствуют какие-то внешние условия (теплоизоляция 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, см. (5.3):

$$\Delta S / \tau = (\Delta S / \tau)_{\min.}$$

Как уже отмечалось в разд. 5.1, 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: ***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.

Для того чтобы при реализации принципов энергосбережения както на уровне фактических результатов оценивать энергетическую эффективность, в XX веке были предложены многочисленные методы и показатели. Приведем здесь отдельные из них.

В 1956 году 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.

Заметив это, Р. Клаузиус в 1865 г., Д.У. Гиббс в 1875 г. сформулировали понятие свободной энергии системы, которое стало широко известным из статьи Г. Гельмгольца (1882) 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 $U = (U - TS) + TS$, 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

$$W^*_{\max} = -\Delta F = -\Delta U + T\Delta S. \qquad (5.6)$$

Совершается максимальная работа только в идеальных, нереальных обратимых процессах.

Действительная работа, производимая системой в реальных, необратимых процессах, всегда меньше максимальной на величину необратимых потерь тепла в окружающую среду $T\Delta S_н$, где $\Delta S_н$ – увеличение энтропии системы вследствие необратимости процесса:

$$W^*_{\text{д}} = -\Delta F - T\Delta S_{\text{н}} = -\Delta U + T\Delta S - T\Delta S_{н} < W^*_{\max}. \qquad (5.7)$$

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), а 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

$$W^*_{\max} = \Delta G; \qquad W^*_{\text{д}} = -\Delta G - T\Delta S_{\text{н}} < W^*_{\max}. \qquad (5.8)$$

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, - $T\ \Sigma\Delta S_{\mathrm{H}i}$. 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 энергия 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 «расходоваться» 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 и 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 порядка 500 ºС – 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. Однако иногда забывают, что эксергетический баланс позволяет учесть потери лишь из-за необратимости процессов, а это не всегда является главным. Так, при сравнении теоретических циклов реальных тепловых машин, все процессы которых принимаются обратимыми, с идеальным обратимым циклом Карно, эксергетический КПД всех их равен 100 %. При использовании же тепла для нужд (плавки металлов, выпарки, сушки и т.п.) запас работоспособности теплоносителя – его эксергия – не имеет прямого значения.

В течение XX столетия 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 бывший наш соотечественник 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. Важно это и для современной России, когда практически все обсуждают и прогнозируют если не дефолт, то скачки цен (на хлеб, на металл и т.д.)

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, овеществленная 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 негэнтропии: 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.

Следует понять, что речь не идет об изъятии денег из обращения и замене их килограммами условного топлива или киловаттами. Речь идет о введении кроме экономического (денежного) анализа так называемого энергетического анализа на основе физических, в том числе и энергетических, параметров.

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 «Энергосбере-

жение в промышленности» (1979), переведенной на русский язык [10].

Появились такие работы и в СССР. В порядке общественной инициативы их проводили и на Урале: Уральский научный центр АН СССР, Уралэнергочермет, Уралгипрогаз. В результате этих работ был предложен метод энергетической оценки современных промышленных технологий. Была поддержка по тем временам на самом высшем уровне – газета «Правда», № 336, 02.12.1986 и др. Но все эти разработки как в СССР, так и в России остались до сих пор на уровне общественных инициатив.

Именно в результате этих инициатив 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]. В ряде характерных деталей эта методика в 2001 г. была закреплена в ГОСТ Р 51750-2001 и ГОСТ Р 51749-2001 [17, 18].

С участием авторов данного учебника этот метод энергетического анализа получил развитие в создании и использовании на примере Свердловской области методики расчета энергоемкостей валового регионального продукта (ВРП) и валового отраслевого продукта (ВОП) [19] – см. гл. 15.

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.

5.3. Потенциал энергосбережения

Различные оценки эффективности использования топлива и энергии в мировой практике ведутся давно. Приведем оценки полезного использо-

вания энергии, расходуемой во всем мире. Электроэнергетика, по разным оценкам, использует около 30 – 35 % энергии, содержащейся в ископаемом топливе, т. е. теряется почти 70 % этой энергии. Около 55 % энергии, используемой в черной металлургии, расходуется эффективно. На транспорте дело обстоит совсем неблагоприятно: только 25 % поступающей этому потребителю энергии расходуется по назначению, а 75 % теряется. В тех отраслях, в которых энергия используется не в первичной форме, а как преобразованная энергия (электрическая, тепловая и др.) для приведения в действие машинного оборудования, достигаются лучшие показатели, и, по оценкам, коэффициент использования энергии в них составляет обычно 70 – 75 %. В результате в целом менее 50 % всей энергии, расходуемой в мире, используется эффективно, а остальную часть составляют потери энергии при превращениях, на тепловое изучение, с охлаждающей водой и т.д. Несмотря на то что известно, сколько энергии расходуется различными видами технологических процессов, трудно определить, какое количество энергии можно было бы сэкономить при использовании энергосберегающих конструкций оборудования для осуществления этих технологических процессов. Еще более важно то, что мы не располагаем средствами прогнозирования способности юридических и физических лиц осуществлять программы энергосбережения в добровольном или принудительном порядке.

Много различных факторов влияют на использование энергии для тех или иных вариантов производства конечной продукции или услуги (в виде горячей воды, отопления, освещения и т.д.). Все эти факторы можно разделить на две группы: субъективные и объективные. Под субъективными следует принимать:

- упорное желание как отдельных людей, так и большинства групп потребителей сохранять расточительное отношение к расходу топлива и энергии вследствие недостаточной грамотности;
- отсутствие понимания у большинства населения, что мы уже сей-

час сталкиваемся регулярно с дефицитом топлива и энергии, а освоение новых источников энергии в больших масштабах реализовать не удается. Часть этого дефицита энергии должна компенсироваться мероприятиями по энергосбережению;

- отсутствие в мировой практике энергетического кодекса, т. е. свода правил, учет которых обязателен при производстве и потреблении энергии.

Приведем несколько таких правил:

- организация новых рабочих мест в энергосберегающем секторе производства более полезна, привлекательна и безопасна, чем создание новых рабочих мест в угольной шахте;
- сэкономленная тонна топлива в 2 - 3 раза ниже по себестоимости, чем вновь добытая из Земли;
- мероприятия по обеспечению сбережения энергии должны оставаться основными элементами всех настоящих и будущих энергетических стратегий.

Объективные факторы, влияющие на эффективность использования энергии:

- капитальные затраты и затраты на топливо;
- издержки производства и издержки на техническое обслуживание и технический ремонт;
- надежность оборудования;
- наличие ресурсов топлива;
- затраты труда;
- социальные факторы (охрана окружающей среды, охрана труда и др.).

Как и СССР, Россия сохраняет за собой роль одной из ведущих энергетических держав мира. Она полностью обеспечивает свои внутренние энергетические потребности за счет собственных ресурсов. Ежегодно наша страна поставляет на экспорт порядка 400 млн. т органического топ-

лива в условном исчислении. Но столь радужные возможности ресурсной обеспеченности российского топливно-энергетического комплекса серьезно омрачаются крайне низким уровнем эффективности использования топлива и энергии в большинстве сфер экономики. Удельная энергоемкость валового внутреннего продукта в России в 1995 г. была практически втрое выше среднемирового показателя и составляла 1300 кг у.т. в расчете на 1000 долларов США. Иными словами, находясь в общем мировом экономическом пространстве, российский производитель затрачивает на производство продукции в среднем в три раза больше энергии, чем усредненная среднемировая страна. В связи с этим осуществление целенаправленной энергосберегающей деятельности в стране имеет огромный экономический, социальный, экологический и политический эффект. Более того, Россия занимает только 8 – 10-е место по количеству разведанных легкодоступных запасов органических топлив.

Впервые данные суммарного потенциала энергосбережения в России были опубликованы в энергетической стратегии России и оценены по состоянию на 1995 г. в 350 – 460 млн. т у.т., примерно половина всего объема потребления первичных энергетических ресурсов. Согласно федеральной целевой программе «Энергосбережение России» из указанного энергетического потенциала страны к 2010 г. должно быть реализовано в общей сложности порядка 400 млн. т у.т. Структура энергосбережения оценивается нами следующим образом, млн. т у.т.:

промышленность……..110;

топливно-энергетический комплекс…….....90;

жилищно-коммунальное хозяйство……140;

транспорт…….40;

сельское хозяйство……..20.

В промышленности наибольшую часть экономии энергоресурсов намечено обеспечить за счет структурных преобразований (ликвидация энергоемких звеньев производства продукции, замена технологий и др.), а

топливно-энергетическом комплексе – в результате технологического прогресса. В жилищно-коммунальном комплексе до половины всей энергии намечено сберечь за счет организационных мер и перехода на поквартирный учет расхода энергоресурсов.

В российских регионах потенциал энергосбережения во многом зависит от уровня развития топливного сектора в экономике региона, от освоенности местных видов топлива, от наличия законодательной базы, способствующей развитию экономических механизмов, способных изменить отношение потребителей энергии к ее расходованию.

В среднем в каждом регионе (области, республике) потенциал энергосбережения составляет около 4 – 5 млн. т у.т. Так, в Свердловской области из потребляемых ежегодно до 35 млн. т у.т. потенциал энергосбережения достигает 10 – 12 млн. т у.т. Из них около 4 млн. т у.т. можно реализовать без привлечения значительных инвестиционных средств. Потенциал энергосбережения в Челябинской области оценивается почти в 6 млн. т у.т.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основные принципы (законы) термодинамики.
2. Как вы понимаете роль природы в сохранении и улучшении существующих экологических условий?
3. Как вы понимаете принцип минимума возникновения энтропии?
4. Какие из принципов энергосбережения вы относите к основным?
5. Чем вызвана необходимость создания энергетического анализа, а затем и интегрированного энергетического анализа?
6. Насколько эффективно используется энергия в промышленном производстве, энергетике, транспорте?
7. Назовите факторы, влияющие на эффективность использования энергии.
8. Какое у вас отношение к использованию энергии: расточительное или бережливое? Аргументируйте.
9. Какой потенциал энергосбережения определен в федеральной целевой программе «Энергосбережение России»?
10. Какое объяснение приведенным выше пропорциям в структуре энергосбережения вы могли бы дать?
11. Знаете ли вы, каков объем потребления первичного топлива в регионе вашего проживания и каков потенциал энергосбережения при этом?

6. Правовое обеспечение энергосбережения

Топить нефтью – все равно,
что сжигать ассигнации
Д.И. Менделеев

6.1. Мировая практика нормирования энергосбережения

Проблема энергосбережения существовала всегда.

Но первые меры регулирующего воздействия государства на уровень энергопотребления в промышленно развитых странах появились только после возникновения в 1973 г. кризисной ситуации в нефтеснабжении. В нашей стране в тот период это событие получило определение *первого энергетического кризиса в капиталистическом мире*: т. е. нам это не грозит! Какие первые меры были приняты этими странами в 1974 г.? Это меры запрещающего характера, направленные на снижение расхода моторного топлива, введение ограничений на скорость движения автомобильного транспорта, на продажу бензина для личных автомобилей в выходные дни, на световую рекламу, объем ночного освещения и др.

Все эти действия вряд ли можно назвать популярными и соответствующими правам человека, поэтому началась и продолжается до сих пор разработка и реализация на государственном уровне комплекса административно-законодательных мер, направленных на повышение эффективности использования топлива и энергии в различных сферах экономики и, следовательно, на обеспечение своей энергетической безопасности.

Пожалуй, первый закон об энергосбережении был принят в Федеративной республике Германии (ФРГ) 28 июля 1976 года. Он регулировал следующие направления деятельности:

- теплоизоляцию зданий,
- энергосбережение отопительных установок,
- распределение оплаты за отопление.

Вызвано это было тем, что именно здесь сосредоточен основной потенциал энергосбережения, так как в ФРГ треть всего первичного потребления энергии составляют отопление и горячее водоснабжение.

В 1982 – 1986 гг. во Франции, Бельгии, Дании был сделан существенный прорыв в области управления спросом на энергию с целью ее экономии посредством введения новых систем тарифов, отличающихся от предыдущих более широкой дифференциацией по различным критериям. Новые тарифы на электроэнергию стимулируют снижение нагрузки потребителей в период зимнего максимума за счет действия льготных тарифов в остальное время года. Широкая дифференциация тарифов, при которых пиковая энергия в определенных условиях стоит более чем в 20 раз дороже базовой, а в летнее время в отдельных тарифных зонах электроэнергия отпускается потребителям по ценам ниже среднегодовой себестоимости по энергосистемам, привела к существенному изменению графика энергосистемы Франции: появился третий суточный максимум нагрузки в районе 1 часа ночи.

В настоящее время в Европейском союзе вопросы ресурсосбережения и экологии регулируются специальными директивами, которые являются обязательными для исполнения всеми странами ЕС.

В США действует широкий спектр федеральных актов и законов штатов, регулирующих отношения производителей и покупателей энергии и энергоресурсов. Защита прав потребителей осуществляется активно развитой юридической и судебной практикой.

В Японии законодательство в области энергетики формировалось непосредственно после Второй мировой войны под влиянием американского опыта. Его результативность подтверждается тем, что Япония, не имея собственных энергетических ресурсов, стала одной из самых энергоэффективных стран мира. Энергоемкость валового продукта Японии более чем в 3 раза ниже, чем в России. А в 1947 г. наши страны были практически на одном уровне энергопотребления в промышленном производстве.

Основными из законодательных мер, используемых в настоящее время правительствами стран Европейского Союза при наличии свободных цен на топливо и регулируемых государством в большинстве стран тарифов на энергию, являются:

- меры финансового (фискального) характера, поощряющие энергосбережение,
- организация рекламно-информационных и пропагандистских компаний,
- внедрение и периодическое ужесточение стандартов энергоэффективности и системы маркировки энергопотребляющего оборудования и приборов,
- поддержка и проведение энергетических обследований,
- поддержка новых исследований и разработок в сфере энергосбережения.

Очевидно, что идет процесс перевода рыночной экономики в директивно-рыночную.

6.2. Федеральная нормативная база в России

До 1996 г. в России не было законодательных актов, регулирующих деятельность в области энергосбережения.

Федеральный закон «Об энергосбережении» от 03.04.96 г. № 28-ФЗ вводит ряд понятий и определений; в том числе энергосбережение определяется как реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Данный закон – это закон непрямого действия, его цель сформулировать основные направления государственной энергосберегающей политики:

- предлагается при разработке стандартов, сертификации оборудо-

вания и метрологическом контроле блокировать выпуск энергорасточительного оборудования, материалов и изделий;

- определяется правовое поле системы государственного надзора за энергоэффективностью использования энергии через обязательные энергетические обследования предприятий и организаций;
- вводится обязательность учета добываемых, производимых, перерабатываемых, транспортируемых энергетических ресурсов. (В развитие этих требований за прошедший период введены в действие правила учета электрической и тепловой энергии, газа);
- намечены базовые финансовые механизмы энергосбережения с участием энергоснабжающих организаций и местных органов исполнительной власти;
- вводятся некоторые стимулы к развитию энергоэффективной малой автономной энергетики, использующей в том числе и возобновляемые источники энергии;
- предлагается освобождать потребителей, реализующих энергосберегающие мероприятия, от платы за недоиспользование договорных объемов энергетических ресурсов;
- вводятся требования обязательного обучения основам энергосбережения всех физических и юридических лиц и предоставления им необходимой информации по вопросам энергосбережения;
- предусматривается широкое участие субъектов России в законотворческом процессе по проблемам повышения эффективности использование энергии.

Другим заметным нормативным актом следует считать федеральную целевую программу «Энергосбережение России», принятую в январе 1998 г. и вначале рассчитанную до 2005 г. В этой программе российскому законодательству рекомендовалось обеспечить создание конкурентной среды на рынке топлива и энергии, содействовать появлению независимых производителей энергоресурсов, создавать условия и экономическую заин-

тересованность в производстве продукции с хорошими энергетическими показателями, определять требования по участию топливо- и энергоснабжающих компаний в осуществлении энергосберегающих мер на стороне энергопотребителей.

Особую значимость имеет экономическое стимулирование потребителей энергоресурсов социальной сферы. Экономное и рациональное использование топлива, энергии и воды ведет к уменьшению бюджетных ассигнований на топливо- и энергообеспечение объектов в этой сфере, финансируемых полностью или частично из федерального или местных бюджетов. В настоящее время население оплачивает до 80 – 90 % затрат на энергообеспечение, а остальные затраты компенсируются бюджетными средствами. Дотации, согласно положениям программы «Энергосбережение России», должны выделяться непосредственно потребителям, а использованная ими энергия оплачиваться по единым для всех тарифам.

Для стимулирования энергосбережения в социальной сфере предусматриваются следующие меры:

– введение субъектами РФ для различных природно-климатических зон социально обоснованных стандартов потребления населением тепло- и электроэнергии, горячей и холодной воды, природного газа;

– передача объектов централизованного теплоснабжения малой и средней мощности в коллективную собственность потребителей тепла;

– введение для организации бюджетной сферы порядка, при котором сэкономленные бюджетные средства, выделяемые на топливо- и энергообеспечение бюджетных объектов, остаются в течение двух лет в распоряжении этих организаций.

Однако многие из этих и других намечаемых законодательных мер остаются на федеральном уровне нереализованными. Одна из основных причин этого – недооценка важности и своевременности формирования определенной системы и структуры по рациональному снабжению и потреблению энергии на всех уровнях: федеральном, региональном, муници-

пальном и локальном - на предприятиях, организациях и каждым физическим лицом.

Федеральная целевая программа «Энергосбережение России» примерно к 2000 г. была трансформирована в программу «Энергоэффективная экономика».

В любом варианте финансирование конкретных мероприятий из этих и других программ ведется в ограниченных объемах.

Обзор основных нормативных правовых и методических документов по обеспечению энергосбережения [15, 20, 75]

Федеральный закон № 41-ФЗ от 14.04.1995 «О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации»

Определена необходимость включения в себестоимость электрической и тепловой энергии затрат на энергосбережение.

Федеральный закон № 147-ФЗ от 17.08.1995 «О естественных монополиях»

Определяет правовые основы федеральной политики в отношении естественных монополий. Законом регулируется, в частности, деятельность на услуги по передаче электрической и тепловой энергии. Используется ценовое регулирование естественных монополий, определение потребителей или установление минимального уровня их обеспечения.

Основополагающим документом в области энергосбережения является **Федеральный закон «Об энергосбережении» № 28-ФЗ от 03.04.1996.** Данный закон регулирует отношения, возникающие в процессе деятельности в области энергосбережения. Для создания экономических и организационных условий в целях эффективного использования в области энергосбережения основными являются отношения, возникающие в процессе деятельности, направленной:

– на эффективное использование энергетических ресурсов при их добыче, производстве, переработке, транспортировке, хранении и потреблении;

– ***осуществление государственного надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов;***

– развитие добычи и производства альтернативных видов топлива, способных заменить энергетические ресурсы более дорогих дефицитных видов;

– ***создание и использование энергоэффективных технологий***, топливо- и энергопотребляющего и ***диагностического оборудования, конструкционных и изоляционных материалов, приборов для учета расхода энергетических ресурсов и для контроля за их использованием, систем автоматизированного управления энергопотреблением;***

– ***обеспечение точности, достоверности и единства измерения в части учета отпускаемых и потребляемых энергоресурсов.***

Законом определены основные принципы энергосберегающей политики государства, положения о стандартизации, сертификации и метрологии и основы государственного управления энергосбережением.

Для практической деятельности хозяйствующих объектов ***большое значение имеют ст. 10, 11 и 12 Закона, регламентирующие проведение энергетических обследований организаций, учет энергетических ресурсов и государственное статистическое наблюдение за потреблением энергетических ресурсов и их эффективным использованием.***

Предусмотрены экономические и финансовые механизмы энергосбережения, образование и подготовка кадров и информационное обеспечение энергосбережения.

Федеральный закон № 184-ФЗ от 27.12.2002 «О техническом регулировании»

Введено требование подтверждения соответствия производимой продукции, в том числе энергопотребляющего оборудования и процессов

производства, положениям технических регламентов, национальных стандартов и стандартов организаций:

– в части рационального использования ресурсов;

– обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Указ Президента РФ № 472 от 07.05.1995 «Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройке ТЭК РФ на период до 2010 года»

Определены необходимость разработки федеральной целевой программы «Энергосбережение России» и важнейшая роль энергосбережения при формировании энергетической политики.

Постановление Правительства РФ № 998 от 12.10.1995 «О государственной поддержке создания в РФ энергоэффективных демонстрационных зон»

Определен порядок государственной поддержки демонстрационных зон высокой энергетической эффективности.

Постановление Правительства РФ № 1087 от 02.11.1995 «О неотложных мерах по энергосбережению»

Предусмотрен комплекс мер по энергосбережению, включая оснащение предприятий до 2000 г. средствами приборного учета и регулирования расхода энергоносителей.

Постановление Правительства РФ №793 от 12.07.1996 «О федеральном (общероссийском) оптовом рынке электрической энергии (мощности)»

Утверждены основные принципы функционирования и развития федерального (общероссийского) оптового рынка электрической энергии (мощности), а также перечень коммерческих организаций - субъектов федерального рынка. Тарифы на электрическую энергию и размер платы за услуги, предоставляемые на ФОРЭМ, устанавливаются ФЭК.

Постановление Правительства РФ № 832 от 08.07.1997 «О повышении эффективности использования энергетических ресурсов и

воды предприятиями, учреждениями и организациями бюджетной сферы»

Устанавливается обязательность оснащения приборами учета расхода энергоресурсов и воды предприятий бюджетной сферы в 1998 г.

Указ Президента РФ № 1010 от 11.09.1997 «О государственном надзоре за эффективным использованием энергетических ресурсов в РФ»

Минтопэнерго приданы функции государственного надзора за эффективным использованием энергии в РФ.

Постановление Правительства РФ № 1619 от 27.12.1997 «О ревизии средств учета электрической энергии и маркировании их специальными знаками визуального контроля»

Предусматривает назначение ответственными за установку специальных знаков сбытовых организаций и органов энергонадзора; поручение Минтопэнерго разработать в 3-месячный срок порядок ревизии.

Постановление Правительства РФ № 1 от 05.01.1998 «О порядке прекращения или ограничения подачи электрической и тепловой энергии и газа организациям-потребителям при неоплате поданных им (использованных ими) топливно-энергетических ресурсов»

Утверждается порядок прекращения или ограничения подачи энергии при неоплате ТЭР.

Постановление Правительства РФ № 5 от 05.01.1998 «О снабжении топливно-энергетическими ресурсами организаций, финансируемых в 1998 г. за счет средств федерального бюджета»

Предусмотрено выделение средств для закупки ТЭР в пределах лимитов, заключение договоров в пределах установленных лимитов. Расчеты за потребленные ТЭР осуществлять только в денежной форме.

Постановление Правительства РФ № 166 от 12.02.1998 «О возложении на Министерство топлива и энергетики РФ функций государственного надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов в РФ»

Дополнено Положение о Министерстве топлива и энергетики РФ словами об осуществлении государственного надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов в РФ.

Постановление Правительства РФ № 588 от 15.06.1998 «О дополнительных мерах по стимулированию энергосбережения в России»

Приведены разработка программ энергосбережения, установка порядка формирования и использования средств для финансирования мероприятий по энергосбережению, разработка программы энергетических обследований.

Постановление Правительства РФ № 938 от 12.08.1998 «О государственном энергетическом надзоре в РФ»

Утверждено положение о государственном энергетическом надзоре, в том числе надзоре за проведением мероприятий по сбережению топливно-энергетических ресурсов и снижению их расхода на единицу продукции.

Постановление Правительства РФ №777 от 12.10.2000 «Об утверждении положения о Министерстве энергетики Российской Федерации»

Утверждено положение о Министерстве энергетики РФ. Определены задачи министерства, в том числе государственный надзор за эффективным использованием энергетических ресурсов, разработка государственной политики в области энергосбережения и обеспечения экологической безопасности при развитии ТЭК, координация работ по повышению эффективности энергопользования в экономике России.

Основные положения энергетической стратегии России на период до 2020 года. Одобрены Правительством РФ (протокол № 39 от 23.10.2000)

Сформулированы основные принципы и условия энергетической безопасности страны (региона), ее граждан. Для обеспечения безопасности

определены цели и задачи энергетической стратегии и государственной энергетической политики. Предложена программа разработки первоочередных нормативно-правовых и организационных документов, формирующих механизмов реализации «Энергетической стратегии России на период до 2020г.».

Постановление Правительства РФ № 526 от 11.07.2001 «О реформировании электроэнергетики РФ»

Одобрены основные направления реформирования электроэнергетики России.

Сформулированы основные условия перехода на нерегулируемые государством тарифы на производимую электроэнергию с использованием механизма коммерческой диспетчеризации.

Распоряжение Правительства РФ № 1040-Р от 03.08.2001 «Об утверждении плана мероприятий первого этапа реформирования электроэнергетики РФ»

Изложен план мероприятий по IV кварталу 2002 г., включающий в себя разработку проектов федеральных законов «Об электроэнергетике», о внесении изменений и дополнений в существующие федеральные законы и Указы Президента.

Постановление Правительства РФ № 796 от 17.11.2001 «О федеральной целевой программе “Энергоэффективная экономика на 2002 – 2005 годы и на перспективу до 2010 года” (с изменениями от 29.12.01)»

Основная цель программы - перевод экономики России на энергосберегающий путь развития за счет всемерного использования энергосберегающих технологий и оборудования, надежное обеспечение энергоносителями отраслей экономики.

Постановление Правительства РФ № 797 от 17.11.2001 «О подпрограмме “Реформирование и модернизация коммунального комплекса Российской Федерации” федеральной целевой программы “Жилище” на 2002 – 2010 годы»

Цель программы – повышение эффективности, устойчивости и надежности функционирования жилищно-коммунальных систем жизнеобеспечения населения, привлечение инвестиций в жилищно-коммунальный комплекс, улучшение качества жилищно-коммунальных услуг с одновременным снижением нерациональных затрат и др.

Постановление Правительства РФ № 135 от 11.02.2002 «О лицензировании отдельных видов деятельности»

Утвержден перечень видов деятельности, лицензирование которых осуществляется органом исполнительной власти. В области энергетики лицензируются:

- деятельность по эксплуатации электрических сетей;
- деятельность по эксплуатации тепловых сетей;
- ряд видов деятельности по переработке, транспортировке, хранению и реализации нефти, газа и продуктов их переработки.

Постановление Правительства РФ № 226 от 02.04.2002 «Основы ценообразования в отношении электрической и тепловой энергии в Российской Федерации»

Изложены нормативно-методическая основа регулирования тарифов (цен) и общие принципы и методы их формирования.

25 марта 1998 г. Министерством топлива и энергетики Российской Федерации введены в действие **«Правила проведения энергетических обследований организаций».** В правилах определены: область их применения, цели и порядок проведения энергетических обследований (энергоаудита), а также подробно изложены организация энергетических обследований, виды энергетических обследований, методы проведения энергетических обследований, требования к обследуемым потребителям топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), оформление результатов энергетических обследований, финансирование энергоаудита, права и ответственность обследуемых потребителей ТЭР.

Значительным ведомственным актом, регламентирующим одно из важнейших мероприятий в комплексе мер по энергосбережению, является **Приказ № 10 от 16.02.2001 г. Департамента государственного энергетического надзора и энергосбережения Министерства энергетики Российской Федерации «О проведении обязательных энергетических обследований на предприятиях и в организациях».** Данным Приказом, изданным во исполнение закона «Об энергосбережении» и Постановления Правительства № 588 от 15.06.1998 г., вводится в действие **«Положение об аккредитации энергоаудиторов в органах Госэнергонадзора Министерства энергетики Российской Федерации».** В приказе определены критерии аккредитации, порядок ее проведения и требования к аккредитуемым. Установлены также порядок контроля за деятельностью аккредитованных энергоаудиторов, установлены случаи приостановления или отменены действия свидетельства об аккредитации.

В связи с тем что значительная часть энергопотерь в зданиях и сооружениях происходит через наружные ограждающие конструкции зданий и сооружений, большое практическое значение имеет **Государственный стандарт СССР ГОСТ 26254-84, введенный в действие Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства с 01.01.1985 г. «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций».**

Данный стандарт распространяется на ограждающие конструкции жилых, общественных, производственных и сельскохозяйственных зданий и сооружений: наружные стены, покрытия, чердачные перекрытия, перекрытия над проездами, холодными подпольями и подвалами, ворота и двери в наружных стенах, другие ограждающие конструкции, разделяющие помещения с различными температурно-влажностными условиями – и устанавливает методы определения сопротивления их теплопередаче в лабораторных и натурных (эксплуатационных) зимних условиях. ГОСТ 26254-84 устанавливает, что определение сопротивления теплопередаче ограж-

дающих конструкций позволяет количественно оценить теплотехнические качества ограждающих конструкций зданий и сооружений и их соответствие нормативным требованиям, установить реальные потери тепла через наружные ограждающие конструкции, проверить расчетные и конструктивные решения. ГОСТ сохранил свое значение как базовый документ, однако часть положений, касающихся методики и аппаратных средств, не учитывает современных технических и технологических возможностей.

Государственный стандарт СССР ГОСТ 26629-85 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций»

Распространяется на ограждающие конструкции жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий с нормируемой температурой внутреннего воздуха помещений. Метод основан на дистанционном измерении тепловизором полей температур поверхностей ограждающих конструкций, между внутренними и наружными поверхностями которых создан перепад температур, и вычисления относительных сопротивлений теплопередаче участков конструкции.

К сожалению, данный стандарт практически как не использовался в СССР, так и не используется в России. А именно с учетом результатов тепловизионного контроля должны приниматься в эксплуатацию все вновь вводимые и капитально реконструированные здания и сооружения.

Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51379-99 «Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов»

Настоящий стандарт, введенный (впервые) Постановлением Госстандарта России № 471-ст от 30.11.1999 г., подготовлен Госэнергонадзором РФ в сотрудничестве с Московским агентством энергосбережения. Он регламентирует основные положения энергетической паспортизации, устанавливает формы документов – составных частей паспорта промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов, отражает накоплен-

ный опыт в области энергетической паспортизации и предлагает единый унифицированный подход к его составу и структуре. Документ необходим в работе энергоаудиторов и энергопотребителей, так как в Приложениях к нему приведены формы Паспорта и его составных частей.

Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51380-99 «Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям»

Введен в действие Постановлением Госстандарта России № 472-ст от 30.11.99. Данный стандарт распространяется на энергопотребляющую продукцию производственно-технического назначения и бытового потребления на стадиях ее жизненного цикла и устанавливает требования к методам подтверждения соответствия показателей ее энергетической эффективности их нормативным значениям.

Нормативные значения показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции устанавливаются в нормативных документах – государственных, отраслевых стандартах, технических регламентах, стандартах научно-технических обществ и ассоциаций, стандартах предприятий.

Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51387-99 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение»

Введен в действие Постановлением Госстандарта России № 485-ст от 30.11.1999 г. Данный стандарт устанавливает основные понятия, принципы, цели и субъекты деятельности в области нормативно-методического обеспечения энергосбережения, состав и назначение основополагающих нормативных методических документов и распространяется на деятельность, связанную с эффективным использованием топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), на энергопотребляющие объекты (установки, оборудование, продукцию производственно-технического и бытового назначения), технологические процессы, работы, услуги.

Положения, установленные в стандарте ГОСТ Р 51387-99, обязательны для применения расположенными по территории РФ предприятиями, организациями, региональными и другими объединениями, независимо от форм собственности и подчинения, а также органами управления РФ, имеющими прямое отношение к использованию ТЭР и энергосбережению.

Положения, установленные в настоящем стандарте, применяются в научно-технической, учебной и справочной литературе, при планировании разработок и разработке нормативных, методических документов по энергосбережению и обеспечению эффективного использования ТЭР.

Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51388-99 «Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения»

Принят и введен действие Постановлением Госстандарта России № 186-ст от 30.11.1999 г. В данном стандарте реализованы нормы и требования Закона РФ «Об энергосбережении», Закона РФ «О лицензировании отдельных видов деятельности». Стандарт устанавливает общие требования к информированию потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения, перечень видов изделий, информация об эффективности энергопотребления которых должен быть предоставлена потребителю (в перечень включены: оборудование и материалы электротехнические, изделия автомобильной промышленности, тракторы и сельскохозяйственные машины, продукция строительного, дорожного и коммунального машиностроения, оборудование санитарно-техническое, оборудование технологическое для легкой и пищевой промышленности и бытовые приборы, материалы строительные, конструкции и детали сборные железобетонные, изделия из стекла, фарфора). Стандартом установлены способы и формы информирования потребителей об энергоэффективности энергопотребляющих изделий, общие требования, правила и объем информации по энергоэффективности, которую необходимо доводить до сведения потребителей. Стандарт предназначен для использования юридиче-

скими и физическими лицами (независимо от формы собственности) в их деятельности по энергосбережению, при изготовлении и реализации на рынке энергопотребляющих изделий и оборудования, проведении энергетической экспертизы, энергообследований и паспортизации потребителей ТЭР.

Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей»

Введен в действие Постановлением Госстандарта России № 882-ст от 29.12.1999 г. Данный стандарт устанавливает основные виды показателей энергосбережения и энергетической эффективности, вносимых в нормативные (технические, методические) документы, техническую (проектную, конструкторскую, технологическую, эксплуатационную) документацию на энергопотребляющую продукцию, технологические процессы, работы и услуги.

Распространяется на все виды продукции, включая топливно-энергетические ресурсы, материалы и изделия, использование которых по назначению связано с расходованием (потерями) ТЭР, на технологические процессы, сопровождающиеся потреблением (потерями) ТЭР, а также на все виды деятельности, направленные на рациональное использование и экономию ТЭР.

Стандарт предназначен для использования юридическими и физическими лицами в их деятельности по энергосбережению, при разработке новых и пересмотре действующих нормативных документов в части, касающейся нормирования показателей энергетической эффективности, разработке и проведении (энергетической) экспертизы проектной документации, проведении энергетических обследований (энергетического аудита) и энергетической паспортизации потребителей ТЭР, разработке нормативных и методических документов в обеспечение программ энергосбережения и статистической отчетности в области энергосбережения.

Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 51750-2001 «Энергосбе-

режение. Методика определения энергоемкости при производстве и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения» (введен впервые) [18]

Целью настоящего стандарта является установление методологии комплексного определения энергоемкости в технологических энергетических системах (ТЭС) различного назначения при производстве продукции и оказании услуг с учетом энергосбережения и экологической безопасности.

Настоящий стандарт применяют для определения, описания, анализа и сравнения технологической энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в ТЭС в целях обеспечения единой методической основы энергетического выбора при принятии решений любого уровня. Технология, обеспечивающая наименьшую полную энергоемкость конечных видов продукции и услуг при нормированных удельных энергозатратах на производство продукции, является более эффективной.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 31168-2003 «Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление» (введен впервые).

Стандарт разработан с целью подтверждения соответствия показателя нормализованного удельного потребления тепловой энергии на отопление за отопительный период эксплуатируемого здания нормативным значениям согласно СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» с учетом требований ГОСТ Р 51380 и ГОСТ Р 51387. Дополнительно в результате обработки данных измерений стандарт позволяет рассчитывать общий коэффициент теплопередачи здания. Стандарт является базовым документом, обеспечивающим параметрами энергетический паспорт и энергоаудит эксплуатируемых зданий.

Строительные нормы и правила СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий (взамен СНиП II-3-79*)

Данный СНиП устанавливает требования к тепловой защите зданий в

целях экономии энергии при обеспечении санитарно-гигиенических и отопительных параметров микроклимата помещений и долговечности ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Настоящие нормы предусматривают введение новых показателей энергетической эффективности зданий – удельных расходов тепловой энергии на отопление за отопительный период с учетом воздухообмена, теплопоступлений и ориентации зданий, устанавливают их классификацию и правила оценки по показателям энергетической эффективности как при проектировании и строительстве, так и в дальнейшем при эксплуатации.

Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом

Аттестована Госстандартом Российской Федерации в 2000 г., новая редакция аттестована в 2001 г. Используется Мосгосэнергонадзором при определении энергоэффективности наружных ограждающих конструкций строительных сооружений.

6.3. Региональная нормативная база в России

Федеральным законом «Об энергосбережении» от 03.04.96 г. № 28-ФЗ предусматривается разграничение полномочий в области энергосбережения между федеральными органами управления и субъектами федерации. Одно из направлений здесь - развитие законодательной базы энергосбережения, но уже на региональном уровне. Данным правом воспользовались многие из субъектов федерации. Региональные законы по энергосбережению имеют Челябинская область (принявшая подобный закон еще в 1995 г.), Тульская, Нижегородская, Томская и ряд других областей и республик.

Почему такие законы должны быть в каждом регионе?

Регион представляет собой разомкнутую экономическую систему, которая участвует в многочисленных системах связей между предприятиями и организациями разных отраслей. В основу таких связей положены относительная экономическая и юридическая самостоятельность региона, его территориальная целостность, компетентность местных органов власти. Содержание целей и задач регионального управления экономикой можно разделить на следующие группы:

- формируемые с позиций увеличения вклада региона в экономику и безопасность федерации,
- формируемые с позиций комплексного развития региона, но при этом направленные на обеспечение более полного удовлетворения потребностей населения.

Непосредственная реакция населения на любые управляющие решения, принимаемые как на федеральном, так и на региональном уровнях, практически всегда направлена на местные органы власти или через эти инстанции власти. Именно в регионе, муниципальном образовании эта реакция ощущается острее. В последние годы мы все являемся, по крайней мере, свидетелями всякого рода социально-ориентированных акций – от самых мирных до уголовно наказуемых, поэтому региональный уровень управления наиболее сориентирован на достижение содержательных целей управления. Применительно к энергосбережению это означает, что прежде чем включать в полном объеме активные, но непопулярные энергосберегающие стимулы – рост тарифов на тепловую и электрическую энергию, свободные цены на топливо, – необходимо создавать законодательно условия для реализации целого комплекса энергосберегающих мер на системной основе:

- ввести учет вырабатываемых и потребляемых энергоресурсов с установкой измерительного и регулирующего оборудования, при необходимости с перестройкой систем подачи энергии;
- организовать обучение персонала приемам повышения эффектив-

ности на всех стадиях энергетического цикла – от производства до потребления;

- ввести меры финансового (фискального) характера или обеспечить доступность для потребителей энергосберегающего оборудования на рынке;
- проводить разъяснительные, рекламно-информационные и пропагандистские кампании;
- изыскать возможности компенсации наименее обеспеченным слоям населения энергозатрат по реальной рыночной цене;
- разработать организационно-финансовые схемы инвестирования энергосберегающих мер.

В соответствии с действующим в России законодательством большинство из перечисленных проблем находятся в компетенции представительных органов власти.

На необходимость проведения таких работ указывает и опыт развитых стран, где, несмотря на реальные среднестатистические доходы населения в 10 – 20 раз большие, чем в нашей стране, энергосбережение – одно из основных направлений деятельности государственных органов управления.

Считаем, не требует дополнительных доказательств, что все эти этапы энергосберегающей деятельности не могут решаться только из центра, без учета особенностей конкретного региона.

Таким образом, энергосберегающая деятельность – это комплексная проблема и в соответствии с системными принципами должна решаться посредством формирования и реализации программ энергосбережения. Определенное представление о содержании и взаимосвязях целей и задач региональной программы энергосбережения дает табл. 6.1.

Таблица 6.1

Цели и задачи региональной программы энергосбережения

Виды деятельности	Этапы формирования и реализации программы				
	разработка	организация	обеспечение	реализация	контроль и анализ
Правовая сфера	Создание нормативно - правовой базы	Организация энергетических обследований предприятий	Обеспечение единства измерений, сертификации и стандартизации	Борьба с хищениями и расточительным расходованием энергоресурсов	Осуществление контроля исполнения программы
Экономическая сфера	Создание экономических механизмов	Организация учета и контроля потребления энергоресурсов	Обеспечение эффективности тарифной политики	Реализация проектов и зон высокой энергетической эффективности	Оценка и анализ эффективности мероприятий
Производственная сфера	Создание производственной базы	Организация производства энергосберегающей техники	Энергетический менеджмент		Анализ эффективности производства
Информационная сфера	Энергетический маркетинг		Обеспечение подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров	Общественное просвещение, разъяснительная работа, реклама	Создание региональных изданий и печатной продукции по энергосбережению

Особенно активно в регионах России вводят в действие территориальные строительные нормы. Приведем здесь краткие сведения о некоторых ТСНах.

Московские городские строительные нормы «Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению» (МГСН 2.01.1999, ТСН г. Москвы 23-304-99)

Нормы разработаны с учетом опыта четырехлетнего применения в проектировании и строительстве МГСН 2.01.1994 и дополнений к ним в целях согласования с требованиями СНиП 10-01-94 и СНиП II-3-79* (издание 1998 г.), а также с положениями Закона РФ «Об энергосбережении».

ТСН 23-301-2004 Свердловской области. Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормы по энергопотреблению и теплозащите

Предлагаемые нормы преследуют цель проектирования жилых зданий и объектов общественного назначения с эффективным использованием энергии путем выявления суммарного эффекта энергосбережения от использования архитектурных, строительных и инженерных решений, направленных на экономию энергетических ресурсов.

Совокупность требований данного нормативного документа преследует цель перехода к строительству зданий с эффективным использованием энергии при обеспечении комфортных условий пребывания в них и позволяет осуществить поэтапное снижение уровня энергопотребления зданий в Свердловской области.

6.4. Региональная система управления энергосбережением

Одним из главных позитивных итогов экономических преобразований в Свердловской области является формирование региональной политики энергосбережения, которая сегодня все более приобретает комплексный, многоплановый характер (рис. 6.1) [21].

Базовым элементом региональной государственной политики энергосбережения стал Указ Губернатора Свердловской области № 18 от 31.01.1996 г. «О первоочередных мерах по реализации политики энергосбережения в Свердловской области».

Дальнейшее свое развитие региональная нормативно-правовая основа энергосбережения получила в следующих нормативно-правовых актах:

– Указе Губернатора Свердловской области № 457 от 05.10.1998 г. «О мерах по обеспечению энергетической безопасности Свердловской области».

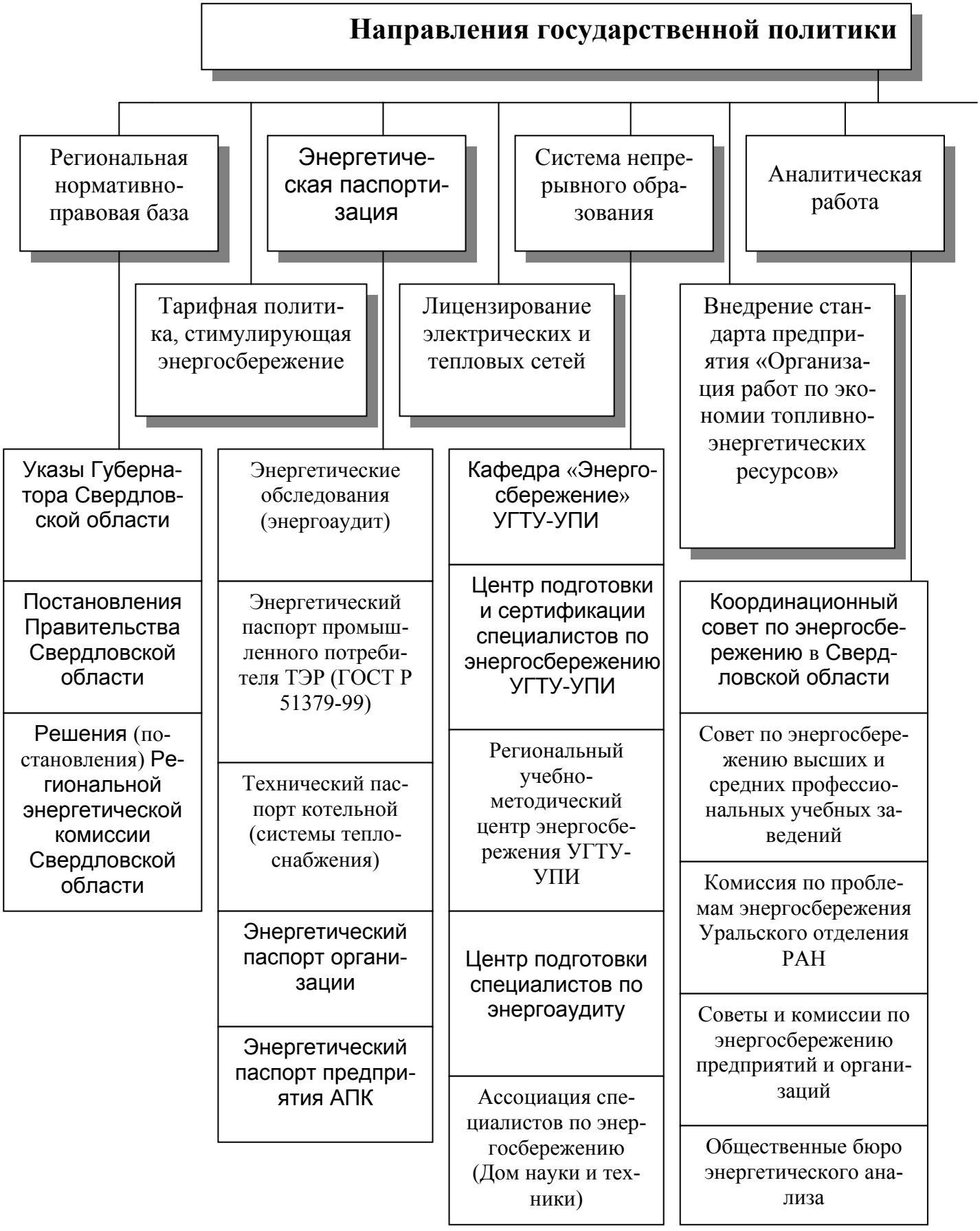
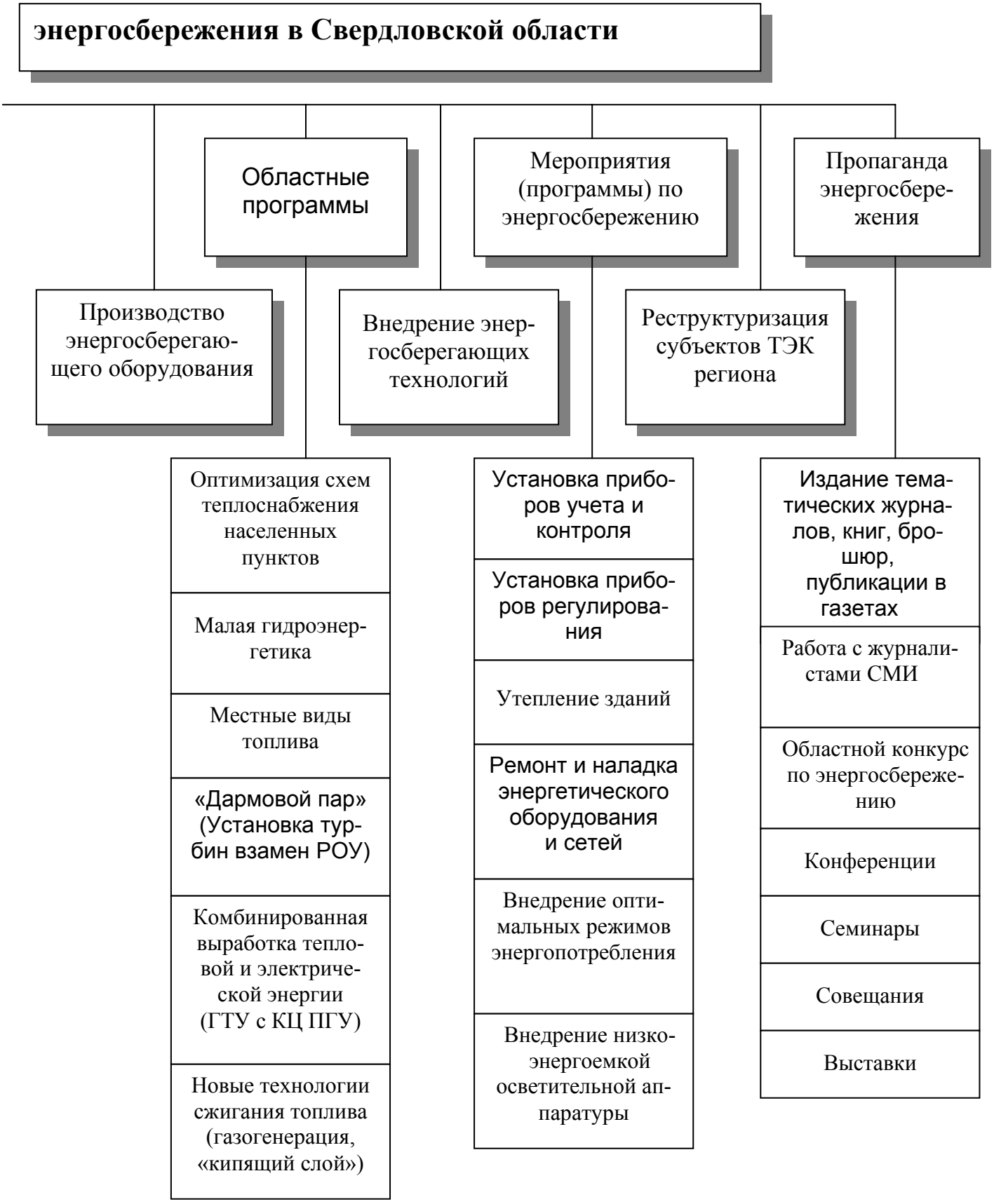


Рис. 6.1. Направления государственной политики



энергосбережения в Свердловской области

Указе Губернатора Свердловской области № 53 от 09.02.1999 г. «О подготовке специалистов по энергосбережению для организаций Свердловской области».

– Постановлении Правительства Свердловской области № 275-ПП от 10.03.1999 г. «О введении энергетических паспортов для организаций бюджетной сферы Свердловской области» и в других.

Всего принято более 90 нормативных актов Свердловской области (Указы губернатора, постановления областного правительства, решения региональной энергетической комиссии), направленных на реализацию политики энергосбережения.

Не менее важным элементом региональной государственной политики энергосбережения явилось создание единой системы учета производства и потребления энергетических ресурсов. Разработаны формы и методические рекомендации по проведению энергетических обследований (паспортизации) предприятий и организаций, на основе которых оформляют «Энергетический паспорт организации», «Энергетический паспорт котельной», «Энергетический паспорт муниципального образования» и т.д. В них фиксируются и периодически обновляются основные параметры энергоэффективности объекта, предприятия и территории.

Паспортизация энергопотребления позволила перейти к нормированию потребностей в топливно-энергетических ресурсах, а для бюджетных организаций установить лимиты потребления ТЭР.

Паспортизация энергопотребления дала возможность выявить и немалые резервы. Потенциал энергосбережения Свердловской области оценивается в 8 -9 млрд. руб. в год в ценах 2003 г. За счет организационных мероприятий, пропаганды энергосбережения, по оценке, имеется возможность мобилизовать до 30 % этого потенциала. Остальная часть требует внедрения энергоэффективных технологий и оборудования. И активность работы по обоим направлениям в Свердловской области нарастает.

За короткий период МУП «Тепловые сети» г. Краснотурьинска сумело сократить потребление тепловой энергии на 23 %, а электрической энергии – на 15 %. Серьезные сдвиги имеют место на промышленных предприятиях области, на транспорте. Так, даже в условиях опережающего роста цен на энергоносители, доля затрат на топливо и энергию в себестоимости продукции (работ, услуг), по данным Свердловского облкомстата, в целом по области снизилась с 20 % в 2000 г. до 18,8 % в 2001 г. В пересчете на сопоставимые цены это составляет около 3,0 млрд. руб. экономии.

Конечно, еще рано говорить о выходе промышленности области на уровень мировых стандартов и даже на доперестроечный уровень энергоэффективности, однако перелом уже произошел – промышленники учатся дорожить энергией, использовать ее более эффективно. На рис. 6.2 приведены данные Государственного комитета по статистике и Министерства металлургии Свердловской области по изменению объемов отдельных видов промышленной продукции и потребления энергии за период с 1990 по 2001 г.

Однако в части снижения энергоемкости выпускаемой продукции (работ, услуг) мы еще находимся в начале пути, поскольку энергоемкость многих видов продукции предприятий Свердловской области по-прежнему выше, чем в США, Германии и других технологически более развитых странах.

В то же время акцент на инновационный характер большинства проектов, включенных в «Схему развития и размещения производительных сил Свердловской области на период до 2015 года», предполагает существенные положительные сдвиги в части энергоэффективности хозяйственного комплекса области, снижения энергоемкости валового регионального продукта.

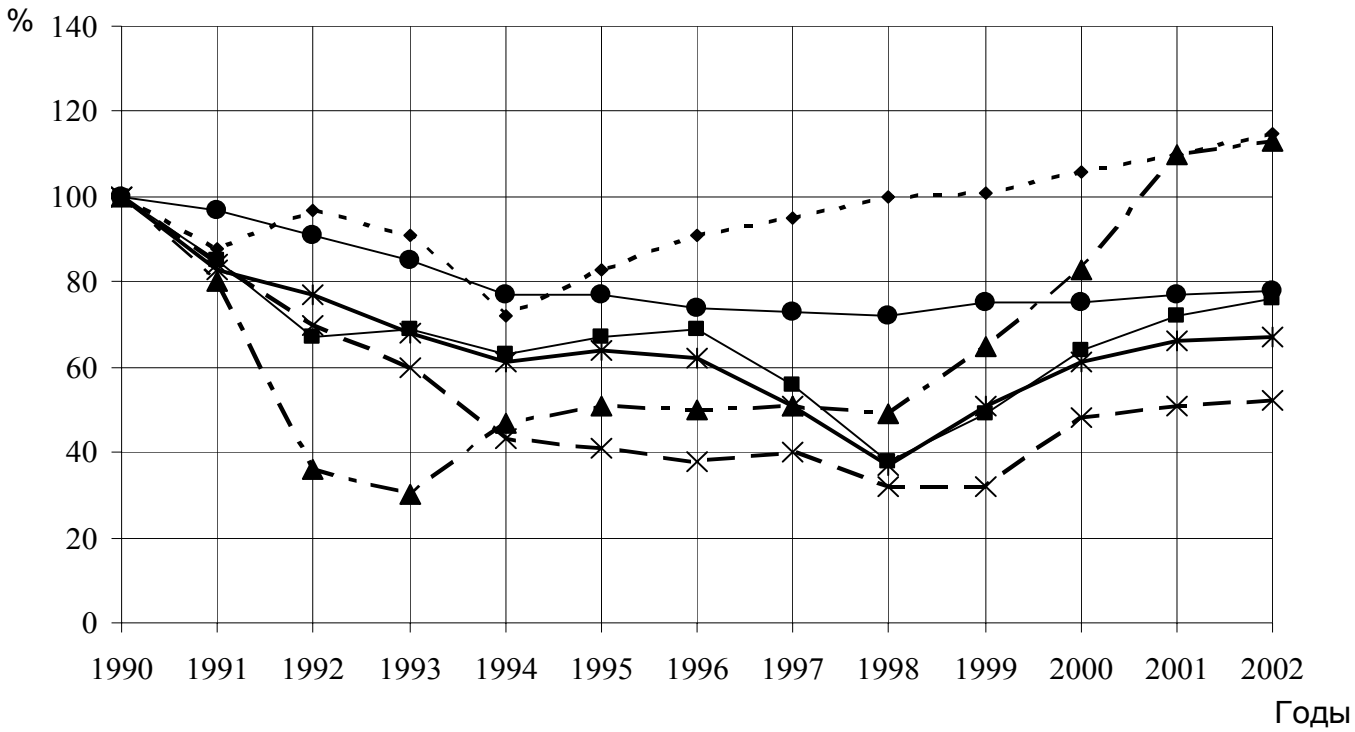


Рис. 6.2. Изменение объемов производства отдельных видов продукции и энергопотребления в Свердловской области в период с 1990 по 2002 г. (1990 г. - 100 %):

- алюминий (первичный);
- прокат черных металлов (готовый);
- медь (рафинированная);
- трубы;
- сталь;
- потребление электроэнергии.

В результате реализации мероприятий отраслевой программы «Энергосбережение в Свердловской области на период до 2005 года» и программы «Государственная поддержка высокоэффективных проектов энергосбережения в учреждениях социальной сферы и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области на 2002 год» обеспеченность приборами учета тепловой энергии и горячей воды учреждений социальной защиты населения Свердловской области, финансируемых из областного бюджета, по состоянию на 1 января 2003 года доведена до 90 %, учреждений культуры – до 80 %, учреждений здравоохранения – до 70 %, учреждений общего и профессионального образования – до 55 %.

В актив политики энергосбережения в Свердловской области следует отнести и формирование системы подготовки и повышения квалификации специалистов по энергосбережению с созданием соответствующей учебной и научно-педагогической базы, основные принципы которой были определены Указом Губернатора Свердловской области № 53 от 9 февраля 1999 года «О подготовке специалистов по энергосбережению для организации Свердловской области». В частности, впервые в России при Уральском государственном техническом университете-УПИ создан Региональный учебно-методический центр энергосбережения, а на теплоэнергетическом факультете УГТУ-УПИ образована кафедра «Энергосбережение».

Основные функции кафедры включают в себя:

- выработку и осуществление единой политики в организации учебного процесса и последующей сертификации специалистов по энергосбережению и управлению качеством;
- организацию совместно с кафедрами и другими структурными подразделениями УГТУ-УПИ и отраслевых вузов Уральского региона обучения, профессиональной переподготовки и сертификации кадров в области энергосбережения, экспертизы, сертификации и управления качеством в энергетике и энергопользовании;
- разработку и утверждение требований к специалисту и содержанию учебных программ для следующих квалификационных уровней: инженера по энергосбережению, инженера по управлению качеством и сертификации, менеджера по энергосбережению, менеджера по управлению качеством и сертификации; эксперт-аудитора по энергосбережению;
- разработку учебных планов и программ, другой учебно-методической документации и учебных пособий;
- организацию и проведение семинаров, круглых столов, деловых игр.

Кафедрой «Энергосбережение» разработаны и апробированы на практике учебные программы для специалистов-энергетиков бюджетной сферы и жилищно-коммунального хозяйства; для промышленных предприятий различных отраслей: электроэнергетики, металлургической, химической, машиностроительной, горнодобывающей – с учетом специфики их технологий, разработана система итоговой аттестации слушателей, включающая в себя компьютерное тестирование, подготовку и защиту выпускных работ в аттестационной комиссии.

Не менее значимое место в региональной политике энергосбережения занимает повышение энергоэффективности в жилищно-коммунальном хозяйстве Свердловской области. В настоящее время это одна из наиболее проблемных отраслей экономики области как по техническому состоянию основных фондов, так и финансово-экономической эффективности своей деятельности. Жилищно-коммунальное хозяйство Свердловской области включает в себя около 90 млн. $м^2$ общей площади жилищного фонда, более 3 тыс. единиц котельных и центральных тепловых пунктов, свыше 30 тыс. км тепло-, водо- и газопроводных сетей в однотрубном исчислении, более четверти которых отслужили свой нормативный срок, а средний износ инженерных коммуникаций превысил 60%. В результате здесь наибольшее среди всех отраслей экономики количество аварий и чрезвычайных ситуаций.

Жилищно-коммунальные услуги населению оказывают почти 1800 предприятий и организаций, общая численность работников которых составляет около 100 тыс. человек. По энергоемкости ЖКХ уступает только черной и цветной металлургии и электроэнергетике. Затраты на топливо и энергию в жилищно-коммунальной сфере области в 2001 г. составили более 3,3 млрд. рублей, столько же, сколько в такой базовой отрасли промышленности, как машиностроение и металлообработка. В первую очередь это вызвано тем, что на объектах коммунальной сферы сохраняются

высокие удельные расходы энергии (табл. 6.2), определяемые по расчетным нормативам энергопотребления.

Таблица 6.2

Сравнительная таблица расхода энергоресурсов в странах Европейского союза и Свердловской области

Параметр	Страны ЕС: Финляндия, Норвегия (инструментальный учет)	Свердловская область (расчетные нормативы)	Превышение показателей
Годовое потребление на 1м^2 отапливаемой площади дома, Гкал	0,12	0,37	в 3,1 раза
Нормы потребления в сутки на одного человека, л, в том числе: - холодной воды - горячей воды	100 - -	280 160 120	в 2,8 раза
Среднее фактическое потребление горячей и холодной воды в сутки на одного человека, л	90	312	в 3,5 раза

Жилой фонд России в целом и Свердловской области в частности с точки зрения энергопользования является весьма неэффективным [72].

Одним из приоритетных направлений в энергосберегающей деятельности, в том числе и в ЖКХ, является оснащение приборами учета расхода энергоресурсов и создание на их основе систем автоматического контроля и управления расходом энергии. В этой части есть весьма положительные результаты в ряде городов Свердловской области. Так, в Краснотурьинске потребление горячей воды в 1996 г. составляло 200 л/(чел.·сут.), а к 2002 г. сократилось до 123 л/(чел.·сут.), т.е. почти на 40 %. Удельное потребление тепловой энергии на теплоснабжение за этот же период снизилось здесь также на 40 %. И таких примеров становится все больше.

По данным Свердловского облкомстата, только за 2001 г. доля затрат на тепловую и электрическую энергию в себестоимости продукции (работ, услуг) ЖКХ области снизилась с 28 до 26 %, а в себестоимости продукции (работ, услуг) в целом по экономике области – с 8,9 до 8,2 %.

Для полного восстановления жилищно-коммунального хозяйства требуется более 50 млрд. рублей, из которых примерно половину надо затратить на обеспечение жильем граждан, проживающих в ветхом и аварийном жилье, пятую часть – на капитальный ремонт жилищного фонда, столько же – на капитальный ремонт и перекладку ветхих сетей тепло- и водоснабжения, остальное – на модернизацию котельных и увеличение мощностей энергетических систем.

Политика органов государственной власти Свердловской области и органов местного самоуправления в жилищно-коммунальном хозяйстве в ближайшие 5 – 7 лет будет направлена на решение следующих ключевых вопросов:

1) совершенствования управления жилищно-коммунальным комплексом с формированием рыночных механизмов функционирования и созданием реальных экономических условий предоставления населению качественных жилищно-коммунальных услуг на конкурсной и договорной основе;

2) финансового оздоровления и обеспечения финансовой стабилизации жилищно-коммунальных предприятий, в том числе ликвидации кредиторской задолженности предприятий отрасли, половину которой составляют неплатежи за топливно-энергетические ресурсы, и установления экономически обоснованных тарифов на жилищно-коммунальные услуги;

3) реконструкции, модернизации и развития жилищно-коммунального хозяйства, организации энергоресурсосбережения и привлечения инвестиций в эту среду;

4) сохранения государственной и муниципальной финансовой поддержки жилищно-коммунального хозяйства, внедрения системы страхования муниципального жилищного фонда и инженерной инфраструктуры жилищно-коммунального комплекса области;

5) обеспечения мер социальной защиты малоимущих граждан при переходе на полную оплату жилищно-коммунальных услуг.

Основные положения этой концепции получили название «Семь шагов к теплу и свету», нашли поддержку на российском уровне и успешно применяются в Свердловской области.

1. Энергетическая паспортизация всех предприятий, организаций и учреждений независимо от форм собственности. Наличие энергетического паспорта позволяет сократить затраты (на оплату энергоресурсов) на 20 % практически без капвложений, за счет организационных мероприятий.

2. Проведение энергетических обследований (энергоаудитов). Принято решение о проведении в Свердловской области за два года повсеместных энергетических обследований, в том числе 260 крупнейших предприятий.

3. Лицензирование теплоисточников и введение «Технических паспортов котельных». Цель – повышение КПД котельных с доведением до уровня нормативного.

4. Создание системы непрерывного образования. Впервые в России в Уральском государственном техническом университете (УГТУ-УПИ) открыта кафедра «Энергосбережение». При УГТУ-УПИ создан Центр по подготовке специалистов в области энергосбережения, обучение проводится на специальных курсах как с отрывом, так и без отрыва от производства (на предприятиях). Прошли обучение и получили соответствующие сертификаты 3 тыс. человек, но требуется обучить значительно больше.

5. Гибкая тарифная политика, при которой устанавливается тарифная «вилка» в виде минимальных и максимальных тарифов на электрическую энергию. Минимальный тариф дается лишь тому, кто занимается энергосбережением.

6. Работа с населением, в том числе и на предприятиях. Проводятся пропаганда энергосбережения в средствах массовой информации (газеты, журналы, радио, телевидение), семинары, выставки, смотры-конкурсы по энергосбережению, формируется движение общественных контролеров по энергосбережению. На предприятиях создаются общественные бюро энер-

гетического анализа, энергетические лаборатории, заводские энергетические комиссии и даже энергетическая полиция.

7. Введение Стандарта «Организация работ по экономии топливно-энергетических ресурсов» для предприятий, организаций и учреждений всех форм собственности, в котором определены основные направления работы по энергосбережению. Было бы правильным утвердить данный документ на уровне Государственного стандарта и отчет по нему ввести в систему форм отчетности государственной статистики.

Контрольные вопросы

1. Что послужило толчком для создания законодательной базы энергосбережения?
2. Основные законодательные меры, используемые в настоящее время руководством западных стран.
3. Основные положения Федерального закона России «Об энергосбережении».
4. Почему, на ваш взгляд, в регионах России требуется свое законодательство по энергосбережению?
5. Основные цели и задачи региональной политики энергосбережения.
6. Почему жилищно-коммунальный комплекс России оказался энергетически неэффективным?

7. Энергосберегающие возможности современных электротехнологий

7.1. Экономическое обоснование применения электротехнологий

Большой потенциал сохранения энергии в промышленности обусловлен применением эффективных электротехнологий, среди которых электронагрев обладает наибольшими возможностями [11]. Его внедрение ведет к росту потребления электроэнергии и снижению выделения CO_2 (рис. 7.1).

Электрическая энергия является наиболее чистой формой энергии и может быть получена из большого многообразия первичных источников (например, уголь, нефть, газ, энергия воды и атомная энергия). Она более эффективна с точки зрения использования, чем ископаемое топливо, поскольку имеет широко известные преимущества: обеспечение чистоты, удобство управления, доступность.

Эти благоприятные характеристики позволяют электричеству конкурировать с ископаемым топливом, уменьшая промышленные эксплуатационные расходы, стоимость и расход первичной энергии. В некоторых случаях капиталовложения для электротехнологии также ниже, чем для варианта с ископаемым топливом.

Энергетическая эффективность

а) Первичный расход энергии

Во всех странах имеется значительный набор генераторных установок, на формирование которого оказывают влияние доступные энергоресурсы и технико-экономические ограничения, такие как основные капиталовложения, стоимость труда, надежность установок.

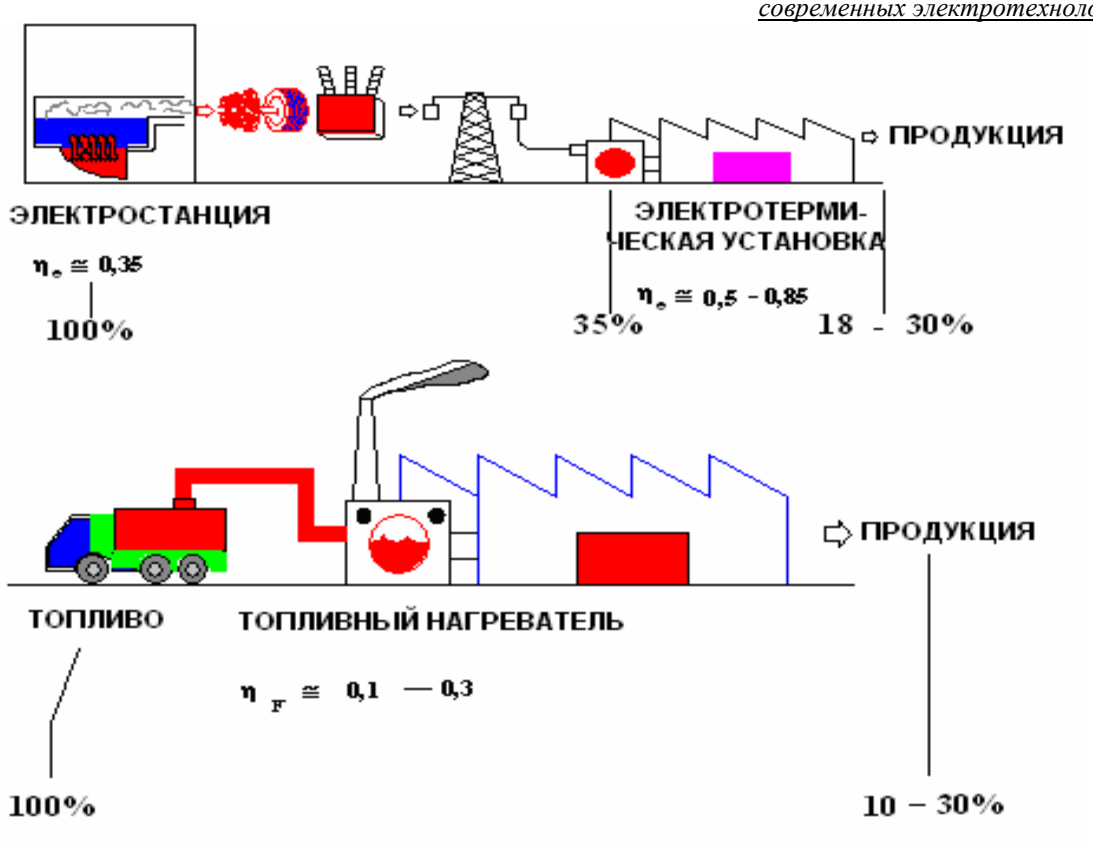


Рис. 7.1. Сравнение электронагрева и топливных процессов

В результате показатель первичной энергии, необходимой для получения 1 кВт·ч электроэнергии, различается в разных странах. Для грубой оценки энергетических характеристик электротехнических решений, противопоставляемых использованию топлива, сопоставляют потребление первичной энергии, обеспечивающей одинаковое количество выпускаемой продукции. Эффективность производства энергии обычно принимают равной 38 % (полный коэффициент полезного действия тепловой электростанции), откуда следует эквивалентность [11]:

1 кВт·ч (электроэнергии конечного пользователя) может быть получен из 2,5 Тч = 10,5 МДж (первичной энергии).

Следовательно, выгодность электротермических процессов по сравнению с классическими зависит от КПД, который при электронагреве во многих случаях очень высок.

На основе приведенной эквивалентности может быть выполнено сравнение двух процессов (1 и 2 на рис. 7.2), в которых используются C_1 и C_2, Тч, топлива и E_1 и E_2, кВт·ч, электроэнергии, с помощью так называемого «коэффициента замены»:

$$\gamma = \frac{C_1 - C_2}{E_2 - E_1}, \qquad (7.1)$$

Во втором процессе γ Тч топлива заменяется 1 кВт·ч электроэнергии. Если γ > 2,5, то процесс 2 энергетически более выгоден, и выгода тем больше, чем выше величина γ.

Анализ большого числа процессов, в которых электроэнергия может заменять «классический» нагрев топливом, показал, что величина γ может принимать значения от 1,3 до 100, однако наиболее часто она изменяется в пределах от 3 до 7.

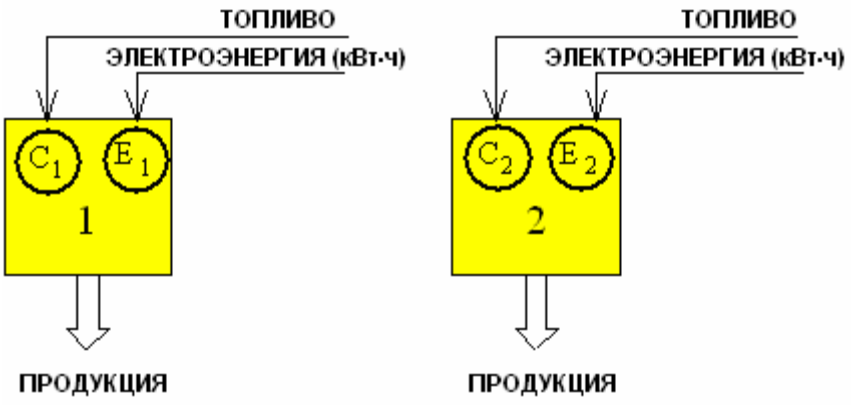


Рис. 7.2. Сравнение процессов с различными источниками энергии

Альтернативным важным параметром для сравнения эффективности электроэнергетических процессов с топливными является так называемый «коэффициент первичной энергии» (*PER*). Это отношение расхода первичной энергии при выполнении процесса с использованием ископаемого топлива W, в $МДж_{терм}$, к расходу первичной энергии при выполнении того же

процесса с использованием частично или полностью электроэнергии E, кВт·ч$_{электр}$, с учетом КПД электростанции и линии передачи энергии η:

$$PER = \frac{W}{3{,}6\,E/\eta}. \qquad (7.2)$$

Для процессов, имеющих $PER > 1$, расход первичной энергии ниже при использовании электроэнергии. Процессы с $PER < 1$ более эффективны при использовании ископаемого топлива.

Хотя этот метод анализа представляется привлекательным, но он не может быть реально применен для выбора вида энергии, так как не принимает во внимание относительный дефицит каждого вида пригодной для использования энергии. Следовательно, необходимо учесть относительные цены (экономическое выражение относительного дефицита) для того, чтобы произвести экономически обоснованный выбор.

б) Эффективность промышленного преобразования энергии

Следует подчеркнуть, что экономии первичной энергии при использовании электротермических процессов не всегда соответствует экономия денежных средств. Для того чтобы оценить, выгоден ли процесс для конечного пользователя, достаточно сравнить коэффициент γ с коэффициентом β, определяемым следующим образом:

$$\beta = \frac{K_{\mathrm{E}}}{K_{\mathrm{C}}}, \qquad (7.3)$$

где K_{E} – стоимость электроэнергии, руб./(кВт·ч), и K_{C} – стоимость топлива, руб./Тч, необходимых для выпуска единицы продукции. Если $\gamma > \beta$, то при замене процесса 2 на процесс 1 будет экономия в стоимости энергии для конечного пользователя.

Экономическая эффективность: многогранная проблема

Описанный энергетический подход является очень приближенным и не всегда оправдывает выбор в пользу электроэнергии: это наиболее дорогая энергия и улучшенный энергетический КПД электротехнологических процессов не всегда достаточен в противопоставлении повышенным издержкам. Часто рациональность выбора электротехнологии определяется другими факторами.

Инвестиции в электротехнологии нередко ведут к пересмотру объемов, а в некоторых случаях и организации производства. Их последствия для производства могут быть многочисленными, прямыми и косвенными, и часто необходима совершенная система стоимостной отчетности для правильной их оценки. Необходимо составить ***балансовую ведомость***, включающую издержки и сбережения, обусловленные различными факторами. Диаграмма на рис. 7.3 показывает различные статьи, которые должны войти в такую балансовую ведомость.

Мы не можем дать здесь детальный анализ отдельных статей, но хотим показать, что балансовая ведомость должна быть настолько полной, насколько возможно для обоснованного анализа. Однако некоторые замечания по поводу последствий перехода на электротехнологию могут быть полезными:

- оплата энергии в среднем составляет в общем балансе только 20 – 30 % (иногда намного меньше); это подтверждает, что не следует ограничиваться только анализом затрат энергии;
- производительность является одной из наиболее важных статей; она может быть увеличена благодаря легкости автоматизации и управления электротермическими процессами, а также уменьшению потерь материала в отходы;

- стоимость труда, обслуживания и ликвидации аварий может быть значительно снижена;
- в некоторых процессах могут быть исключены издержки на подготовку и завершение производства;
- могут быть улучшены условия безопасности и сохранения здоровья;
- загрязнение окружающей среды при электротермических процессах в целом значительно снижается;
- переход к использованию электроэнергии иногда имеет неожиданные последствия; например, уменьшение опасности пожара благодаря исключению использования пламени в цехе может позволить пересмотреть тариф страхования, обеспечив значительную экономию;
- наконец, качество продукции обычно значительно улучшается. Все это полезно учитывать при рассмотрении вопросов качества и возможности расширения рынка сбыта. Улучшение качества изделий может привести к увеличению их доли на рынке и повышению продажной цены.



Рис. 7.3. Балансовая ведомость

В заключение при оценке нового процесса должны быть приняты во внимание все различные факторы. Решение часто оказывается в пользу

электротехнологии по соображениям сбережения энергии, снижения стоимости продукции.

Эти преимущества в значительной мере оправдывают непрерывно расширяющееся применение электротехнологий в промышленности.

7.2. Основы применения электротермических процессов

Данный раздел содержит общий взгляд на многие виды электротермических процессов и их многочисленные достоинства. Их физические основы и различные области применения будут классифицированы и детально рассмотрены как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Основные положения

Термические процессы являются необходимой частью многих промышленных технологий при производстве и обработке различных изделий. Вследствие уменьшения мировых запасов энергоносителей современный подход к использованию энергии означает ответственную эксплуатацию еще доступных ресурсов. В связи с этим непрерывно возрастающие требования к энергосберегающим процессам нагрева должны быть реализованы в промышленности прежде всего путем внедрения эффективных технологических процессов. В то же время эти технологии должны удовлетворять ряду экономических критериев, например высокой производительности при низкой стоимости производства.

Для выработки теплоты может быть использована либо электрическая энергия, либо химическая энергия сжигаемого топлива. Решение за или против конкретного источника энергии основывается преимущественно на экономических критериях. Однако для термических процессов все шире используется электрическая энергия вследствие непрерывного ужесточения требований к эффективности и экологической чистоте промыш-

ленных процессов, к качеству продукции и, не в последнюю очередь, к улучшению общего энергетического баланса производства.

Электроэнергия может быть использована значительно более эффективно и значительно более целенаправленно, чем энергия сжигаемого топлива. Электрические нагревательные системы характеризуются высокой технической эффективностью, и, несмотря на более высокую стоимость энергии по сравнению с энергией других источников, они более экономичны вследствие более низких эксплуатационных расходов. Электротермические установки очень гибки в работе и предоставляют исключительные возможности для автоматизации, особенно при использовании микропроцессоров.

Применение электронагрева для термообработки обеспечивает хорошую повторяемость процесса. Это значит, что могут быть получены заданные свойства материала, необходимые для улучшения технических характеристик, к примеру, узлов машин. Высокая скорость электронагрева, точное регулирование и равномерное распределение температуры обеспечивают высокую эффективность термических процессов и заметную экономию сырья, в частности, вследствие низких потерь на угар. Это проявляется особенно ярко при индукционном и кондуктивном процессах нагрева, при которых тепло выделяется внутри самой загрузки.

Время нагрева в электротермических установках намного короче, чем в пламенных нагревательных установках (иногда на 90 %), поэтому металлургические изменения поверхности загрузки, такие как окисление и обезуглероживание, значительно снижаются, и это способствует высокому качеству изделий. Кроме того, обеспечивается немедленная готовность к работе, и во многих случаях отпадает необходимость иметь технологические запасы нагретого или расплавленного материала. Электротермические установки легко могут быть интегрированы в уже существующие производственные линии, что позволяет значительно улучшить ход процесса.

В течение последних нескольких лет электронагрев внес значительный вклад также в переработку промышленных отходов, которая будет иметь всевозрастающее значение для развитого индустриального общества в будущем. Например, металлургическая промышленность может переплавлять 100 % лома черных металлов в дуговых и индукционных печах. Добавление других компонентов позволяет производить специальные стали или высококачественное чугунное литье любого состава.

С этой целью создан четвертый металлургический передел – обработка жидкого металла вакуумом, инертными газами и т.д. [22]. Так, и в конвертерах, мартеновских печах сейчас можно получить высококачественный металл, используя цикл его внепечной обработки.

Наряду с проблемой использования отходов повышенный интерес вызывает воздействие производственных процессов на окружающую среду. Здесь методы электронагрева также могут превосходить пламенные. Электротермические установки при определенных условиях выбрасывают в окружающую среду меньше дыма, пыли и тепловых загрязнений по сравнению с установками, работающими на сжигаемом топливе. Электронагрев пригоден для нагрева и плавки любого электрически проводящего и непроводящего материала. Хотя он применяется главным образом для нагрева металлов, графита, расплавленного стекла, оксидов и других неметаллических материалов, нагреты могут быть даже ионизированные газы. Множество технологических процессов, включая плавку, закалку, отпуск, отжиг, гальванизацию, сварку, пайку, сушку, выращивание кристаллов, подогрев перед прокаткой, ковкой или покрытием, производится с использованием электронагрева.

Классификация электротермических процессов

Электротермические процессы, используемые для видоизменения материалов или их свойств, основаны на различных физических механизмах преобразования электрической энергии в тепловую. По месту преобра-

зования энергии они могут быть разделены на процессы прямого и косвенного нагрева.

В случае прямого нагрева происходит выделение тепловой энергии непосредственно в самой загрузке за счет протекания электрического тока через ее материал, поглощения ею энергии электромагнитного поля или бомбардировки ее частицами. При косвенном нагреве электрическая энергия преобразуется вне загрузки в тепловую, которая передается затем в загрузку за счет процессов теплопереноса, таких как конвекция, излучение или теплопроводность.

Внутри двух названных основных групп дальнейшая подробная классификация электротермических процессов связана с различными физическими механизмами выделения полезной тепловой энергии в обрабатываемом материале. Ее целесообразно изложить в рамках описания конкретных применений электронагрева в промышленности.

Применение электротермических процессов

Существует широкий диапазон применения электрической энергии в промышленных термических процессах. В зависимости от вида обрабатываемого материала и способа реализации процесса может быть выбран оптимальный метод нагрева.

Прямой резистивный нагрев

При протекании электрического тока по электропроводящему материалу выделяется джоулево тепло, поскольку материал обладает электрическим сопротивлением. Если это сопротивление является собственным сопротивлением объекта нагрева, то процесс называется прямым (или кондуктивным) резистивным нагревом, в противном случае он называется косвенным резистивным нагревом.

При прямом резистивном нагреве (рис. 7.4) на переменном токе наблюдается неравномерное распределение плотности тока и температуры

по сечению обрабатываемого изделия (шихты, загрузки) из-за действия наведенных токов. Так называемый скин-эффект приводит к более или менее выраженной концентрации электрического тока у поверхности загрузки. Для того чтобы получить равномерное температурное поле, предпочтительно использовать источник низкой частоты или постоянного тока.

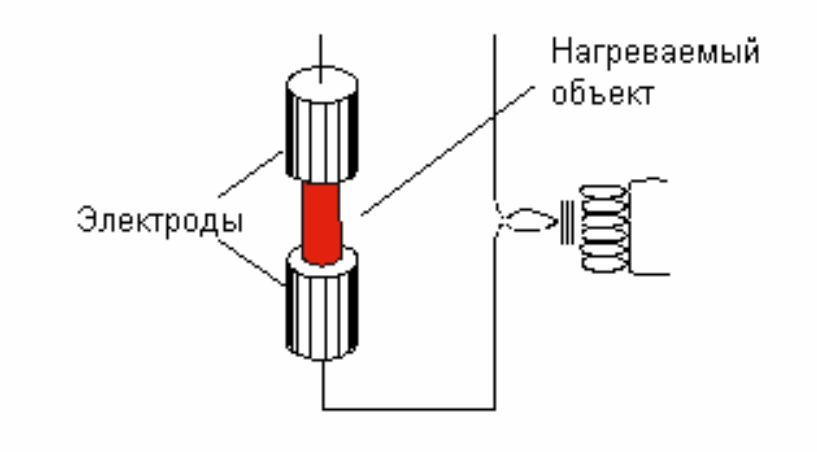


Рис. 7.4. Принцип прямого (кондуктивного) нагрева

Нагреваемые прямым резистивным методом тела должны быть соединены с электродами для обеспечения протекания электрического тока. Электроды обычно выполняются из меди. Для того чтобы обеспечить низкое электрическое сопротивление контакта и нормальную работу нагревательного устройства, необходимы большие прижимные усилия, поэтому проблема надежного контакта электродов является основным фактором, ограничивающим мощность установок.

Выделение тепла внутри загрузки и, как результат, быстрый нагрев при высокой плотности энергии гарантируют высокую экономическую и экологическую эффективность прямого резистивного нагрева. Малое образование окалины на поверхности металла и чистый нагрев в любой рабочей атмосфере приводят к рациональному использованию сырья.

Процессы прямого резистивного нагрева находят широкое применение. Примерами могут служить нагрев металлических заготовок, проводов,

труб и лент в установках периодического и непрерывного действия, плавка стекол, электролиз алюминия, электрошлаковый переплав или производство графита. Производство пара в промышленных электродных бойлерах может быть дополнительным примером.

Косвенный резистивный нагрев (рис. 7.5) характеризуется выделением тепла в специальных нагревательных элементах. Перенос тепла в загрузку осуществляется излучением, теплопроводностью или конвекцией.

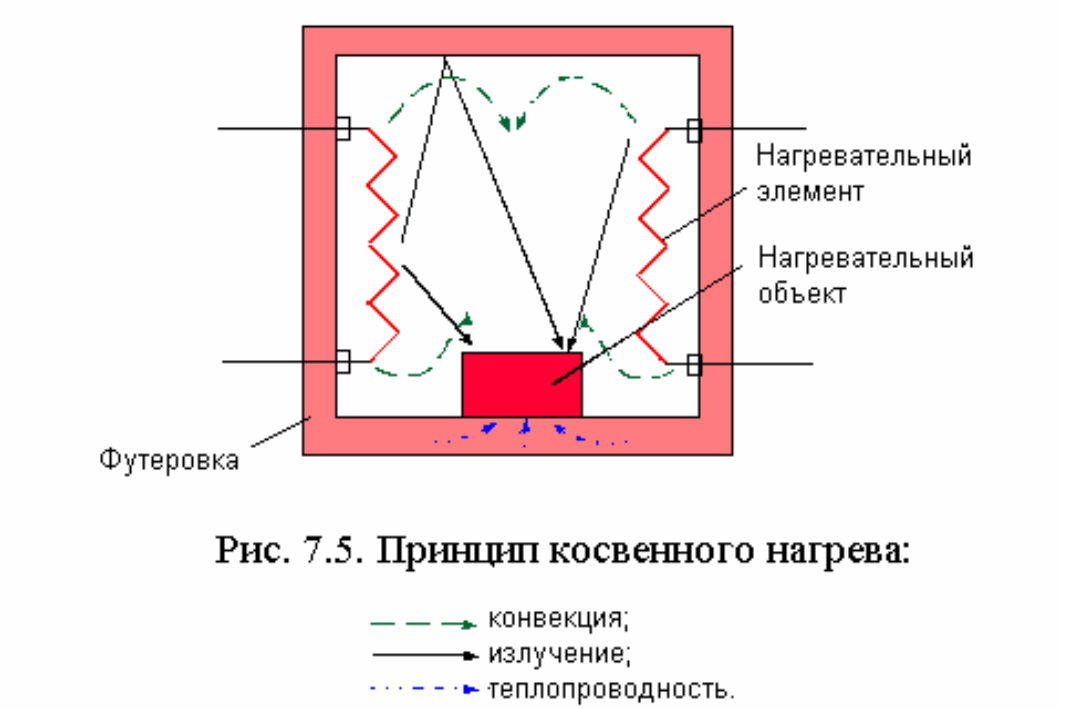


Рис. 7.5. Принцип косвенного нагрева:

Нагревательные элементы различной формы выполняются из жаропрочных металлических материалов, таких как NiCr, Ta, W, или таких неметаллических материалов, как SiC, $MoSi_2$ и графит. Некоторые из этих материалов, например графит, требуют специальной защитной среды (вакуума или инертного газа) для предотвращения окисления. В типовой печи сопротивления нагревательные элементы монтируются на изоляционной керамической футеровке, обеспечивающей низкие тепловые потери. В соответствии с требованиями процесса печи могут быть спроектированы как для непрерывного, так и для периодического нагрева.

Преимуществами косвенного нагрева являются возможность нагрева

и плавки непроводящих материалов, некритичность к форме загрузки, возможность термообработки в различных атмосферах и равномерное распределение температуры по всему объему загрузки. По сравнению с прямым резистивным нагревом расход энергии при косвенном нагреве часто выше, как и у пламенных печей, но возможности использования для термообработки материалов шире.

Характерными областями применения косвенного резистивного нагрева являются плавка и термостатирование металлов, Si, Ge и стекол, термообработка твердых материалов, обжиг керамики и эмалевых покрытий, процессы сушки и подогрев растворов, газов и воды, особенно в бытовых установках.

Инфракрасный нагрев

Электрический инфракрасный нагрев может быть рекомендован как специальный вид прямого нагрева, поскольку механизм нагрева материала состоит в поглощении им длинноволнового электромагнитного излучения. Соответствующая комбинация спектра излучения инфракрасного излучателя с определенной характеристикой поглощения нагреваемого материала обеспечивает избирательный и эффективный нагрев. Экономический и экологический расчеты показывают, что во многих случаях инфракрасный нагрев имеет ряд преимуществ по сравнению с пламенным.

Сушка бумаги, керамики или ткани, сушка и отвердение лаков и красок на металлических поверхностях являются типичными областями применения инфракрасного нагрева.

Индукционный нагрев

Индукционный нагрев – широко используемый промышленный процесс, пригодный для любого электрически проводящего материала. В индукционных нагревательных установках имеют место два вида преобразования энергии. Энергия, поступающая от источника питания, преобразует-

ся в энергию магнитного поля, которая, поглощаясь проводящей загрузкой, превращается в тепловую энергию (джоулево тепло) и вызывает нагрев. Подобно переменному току при прямом резистивном нагреве индуктированные вихревые токи обычно распределены в загрузке неравномерно. Но, с другой стороны, скин-эффект дает уникальную возможность точного управления температурным полем в процессах со специальными требованиями. В зависимости от выбранной частоты тока может быть реализован широкий спектр термических процессов, например поверхностная закалка или плавка металлов.

Классическая индукционная нагревательная система состоит из катушки (индуктора) для создания магнитного поля и нагреваемой загрузки (рис. 7.6).

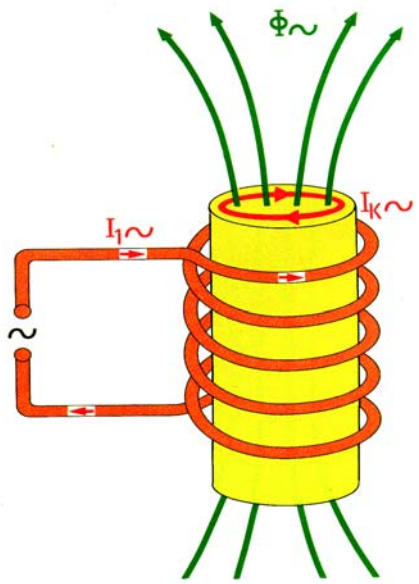


Рис. 7.6. Принцип индукционного нагрева

Во многих случаях для уменьшения тепловых потерь применяется тепловая изоляция. Характерными частями индукционных установок являются также стальные магнитопроводы, концентрирующие магнитный поток для улучшения электрических параметров. Кроме того, они снижают уровень электромагнитного поля вблизи установки.

Помимо общих преимуществ электротермических процессов, пере-

численных выше, индукционный нагрев обеспечивает дополнительные возможности, такие как избирательный и быстрый нагрев твердых материалов при низком уровне образования окалины. При применении индукционного метода для плавки возможно использование электромагнитных сил в жидком металле с целью его перемешивания, гомогенизации или придания определенной формы.

Типичными примерами промышленного применения индукционного нагрева являются термообработка металлов (закалка, отжиг, отпуск), сквозной нагрев перед ковкой и прокаткой, сварка и пайка, нагрев котлов и труб, а также плавка черных, тяжелых и легких металлов, специальных сплавов и оксидов. Индукционный нагрев имеет многообещающий потенциал для применения в безотходных процессах, например точном литье и штамповке.

Диэлектрический нагрев

Диэлектрический нагрев основан на принципе выделения тепла в электрически поляризуемых непроводящих или плохо проводящих материалах при воздействии высокочастотного электрического поля. Материал нагревается в результате непрерывного изменения положения атомов или молекул в переменном электрическом поле. В случае однородного электрического поля в материале и однородности самого материала гарантируется равномерное распределение в нем температуры. Нагрев до требуемой температуры может производиться чрезвычайно быстро за счет использования высокой интенсивности поля или высокой частоты в микроволновом диапазоне.

В зависимости от выбранной частоты различают два вида технологий диэлектрического нагрева. Высокочастотный нагрев в электрическом поле конденсатора осуществляется на частотах мегагерцового диапазона. Для обеспечения передачи энергии высокочастотные установки оснащаются системой электродов, формирующей переменное поле, пронизываю-

щее загрузку, которая может нагреваться непрерывно или периодически (рис. 7.7). Энергия микроволнового (гигагерцового) диапазона частот генерируется в специальной электронной лампе (магнетроне) и передается в

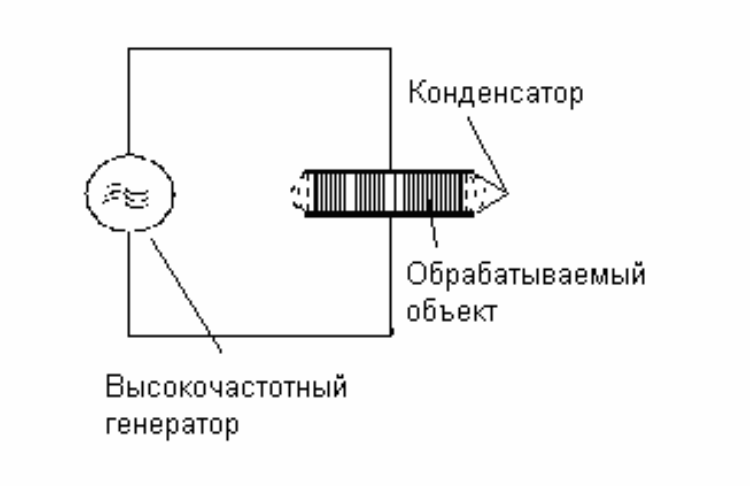


Рис. 7.7. Принцип диэлектрического нагрева [4]

нагреваемый материал через волноводы и излучатели.

Принципиальные особенности процесса позволяют реализовать очень избирательный нагрев, используя различные поляризационные свойства компонентов неоднородных материалов. Традиционным промышленным применением диэлектрического нагрева являются процессы сушки. Они включают, к примеру, сушку бумаги, тканей, древесины и стержневой смеси в литейном производстве. Применение диэлектрического нагрева во многих случаях имеет экономические и экологические преимущества по сравнению с использованием традиционных видов энергии и материальных ресурсов. Другие области применения - нагрев резины и смол или сварка термопластов. Как типичное бытовое применение необходимо упомянуть микроволновую печь для приготовления пищи.

Электродуговой нагрев

Сильноточный газовый разряд между двумя электродами, подключенными к источнику питания, называется электрической дугой. Вследст-

вие высокой температуры (до 10 000 K) тепловая энергия, содержащаяся в свободно горящей дуге, передается в нагреваемый материал главным образом за счет теплового излучения. Если электроды окружены обрабатываемым электрически проводящим материалом, то в нем за счет прямого электрического резистивного нагрева выделяется дополнительная энергия, которая может быть соизмерима с энергией теплового излучения.

Что касается области применения электродугового нагрева, то наиболее важными промышленными процессами являются массовая переплавка стального лома и восстановление оксидов металлов до металлов или карбидов. Электродуговые печи для плавки стали являются в основном трехфазными установками большой мощности с тремя графитовыми электродами, расположенными треугольником для обеспечения симметричности загрузки (рис. 7.8).

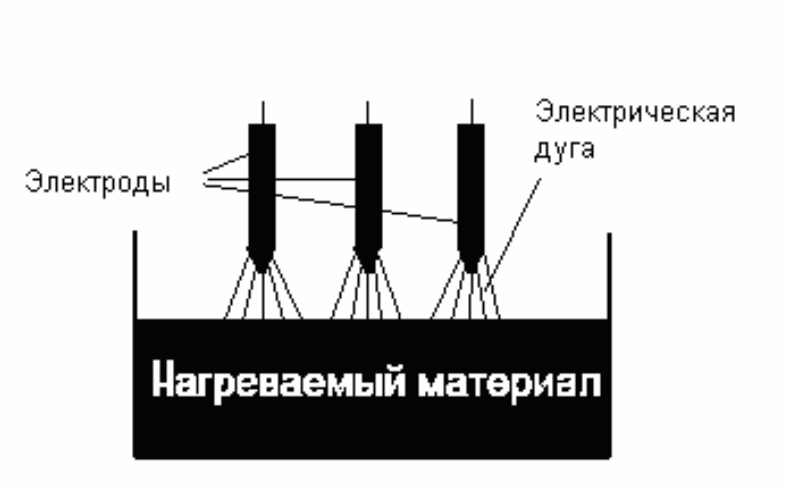


Рис. 7.8. Принцип электродугового нагрева

Устройство электродуговой рудовосстановительной печи подобно устройству трехфазной дуговой сталеплавильной печи, но в отличие от периодического режима работы последней рудовосстановительная печь работает как установка непрерывной плавки. Электроды погружены в непрерывно догружаемую смесь оксида металла и восстановительного реагента. Загружаемый материал электропроводен, поэтому имеет место как нагрев

посредством теплового излучения, так и резистивный нагрев высокоэлектропроводных областей смеси. Кроме сплавов железа, карбидов, кремниевых соединений металлов и корунда в таких печах производятся также фосфор и его производные.

Как другие объекты применения электродуговой плавки могут быть названы установки электрошлакового переплава и вакуумные дуговые печи для переплавки особо чистых металлов и сплавов высшего качества. Электродуговой нагрев используется также для сварки, резки и распыления металлов.

Плазменный, электронно-лучевой и лазерный нагрев

Электротермические процессы плазменного, электронно-лучевого и лазерного нагрева ориентированы на применение не в массовом производстве, а в высоких технологиях прецизионной обработки. Наиболее важным видом промышленного применения этих процессов являются точная и быстрая размерная обработка материалов, а также плавка особо чистых металлов и тугоплавких материалов.

Основной принцип плазменного нагрева – конвективная передача тепла в загрузку струей высокотемпературного ионизированного газа (плазмы). В промышленных установках плазма получается главным образом путем сжатия электрической дуги в дуговых плазмотронах (рис. 7.9) или в высокочастотных плазмотронах, где передача энергии в плазму осуществляется за счет индукции. В плазменной печи с несколькими плазмотронами возможна плавка высокочистых металлов, поскольку электроды, вносящие загрязнения в дуговых печах, здесь отсутствуют. Разновидностью плазменной технологии являются процессы поверхностного упрочнения путем азотирования и науглероживания.

Электронно-лучевой нагрев состоит в бомбардировке загрузки электронами, кинетическая энергия которых преобразуется в тепло. Электронный луч генерируется путем эмиссии электронов из горячего катода с по-

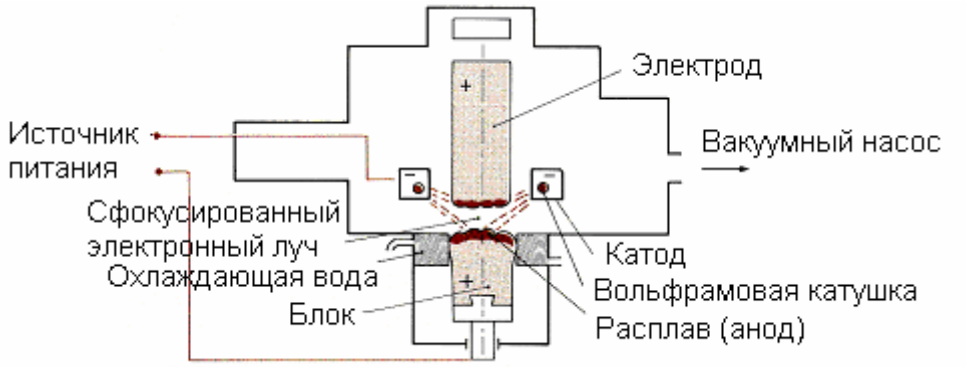


Рис. 7.9 Принцип электронно-лучевого нагрева

следующим ускорением в сильном электрическом поле (рис. 7.10).

Фокусировка луча магнитными или электрическими линзами обеспечивает очень высокую удельную поверхностную мощность. Необходимым, но в то же время ограничивающим условием для эффективного проведения процесса является наличие глубокого вакуума, исключающего поглощение электронов молекулами газа. Кроме особо чистой плавки типичным применением такого вида нагрева являются сварка и сверление материалов, а также покрытия высокой чистоты в оптике и электронике.

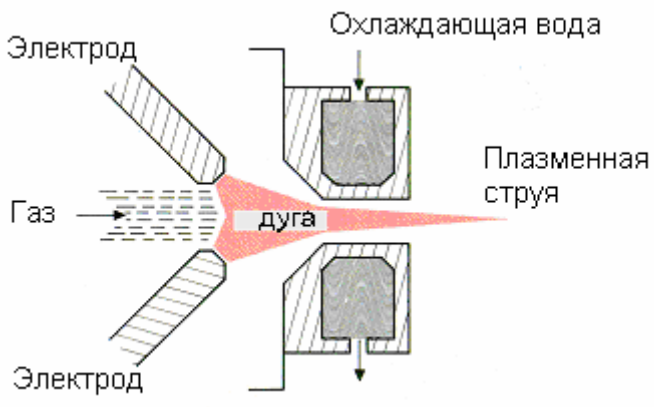


Рис. 7.10. Принцип плазменного нагрева

Лазерный нагрев основан на выделении тепла при поглощении света нагреваемым материалом. Его эффективность зависит от температуры, длины волны и интенсивности излучения, равно как и от свойств материа-

ла. Преобразование энергии происходит только в очень тонком поверхностном слое загрузки.

Лазер состоит из трех главных компонентов: активного лазерного материала, оптического резонатора и системы накачки энергии (рис. 7.11), которая стимулирует лазерный материал, вызывая эмиссию когерентного монохроматического излучения.

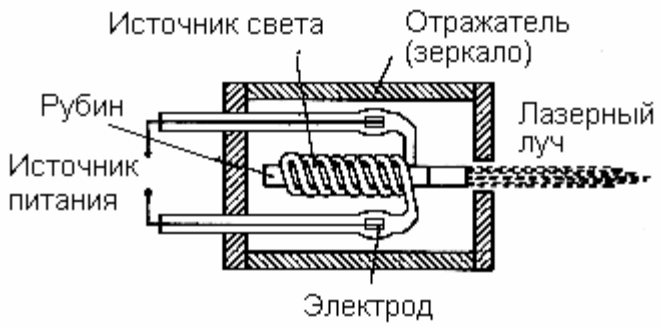


Рис. 7.11. Принцип лазерного нагрева

Лазерный луч фокусируется оптической системой и направляется на загрузку для ее нагрева. В промышленности наиболее широко используются газовые и твердотельные лазеры, позволяющие реализовать самые высокие технологически осуществимые удельные мощности. С их помощью становится возможной очень точная обработка материала, например сварка, пайка, резка или сверление. Подобно электронно-лучевому нагреву, лазерные процессы обработки материалов являются многообещающими технологиями будущего.

Электроискровая эрозия

Искровая, или электроразрядная, эрозия выражается состоит в удалении материала в процессе прецизионной обработки непрерывно повторяющимися электрическими разрядами. Между рабочим электродом и загрузкой, служащей вторым электродом, циркулирует диэлектрическая

жидкость. Если разность потенциалов между электродами превышает электрическую прочность межэлектродного промежутка, то возникает электрический разряд (рис. 7.12). Температура поверхностного слоя обрабатываемого материала повышается настолько, что металл загрузки плавится, испаряется и вымывается диэлектрической жидкостью.

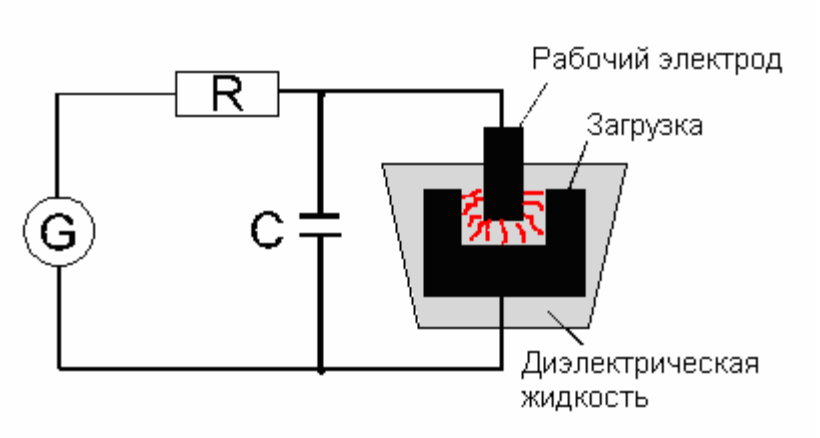


Рис. 7.12. Принцип электроискровой эрозии

Установки электроискровой обработки применяются главным образом для обработки погружаемым или проволочным электродами в металлообрабатывающей промышленности. При погружной эрозионной обработке происходит равномерное перемещение рабочего электрода, погружающегося в загрузку с одновременной обработкой ее. Используется при производстве матриц и прессовых инструментов, а также при механической обработке высокопрочных и хрупких материалов. В процессе электроэрозионной механической обработки проволочным рабочим электродом, изготовленным обычно из меди, последний, непрерывно перемещаясь, прорезает обрабатываемую заготовку по заданной линии. Этот весьма гибкий производственный процесс позволяет формировать сложные профили изделий, не требующие какой-либо последующей обработки.

7.3. Индукционный нагрев

В течение последних 30 лет индукционный нагрев развивался быстрее других электротермических процессов. Это объясняется большими технологическими и экономическими преимуществами индукционного нагрева, касающимися требуемой энергии, качества продукции, производственной гибкости и общей эффективности.

Основные положения

При индукционном нагреве имеют место два вида преобразования энергии. Энергия источника питания преобразуется в энергию магнитного поля, которая, поглощаясь электрически проводящей загрузкой, превращается в тепловую энергию и вызывает нагрев. Процесс основан на двух хорошо известных физических явлениях – электромагнитной индукции и эффекте Джоуля. Первое описывается уравнениями Максвелла, второе – уравнением теплопроводности.

Обязательным элементом индукционной нагревательной установки является индуктор, по которому протекает первичный переменный ток. Индуктор охватывает нагреваемый материал полностью или частично. В результате этого загрузка взаимодействует с созданным током магнитным потоком Ф. Переменный во времени поток индуктирует в нагреваемом материале ЭДС

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \tag{7.4}$$

и электрический ток соответственно. Этот вторичный, или наведенный, ток, протекающий в противоположном по отношению к первичному току индуктора направлении, генерирует мощность плотностью p в соответствии с законом Джоуля:

$$p = \frac{S^2}{\kappa}, \qquad (7.5)$$

где κ – проводимость материала и S – плотность тока. Выделение удельной мощности p приводит к повышению температуры загрузки.

Наложение первичного и вторичного электромагнитных полей приводит к неравномерному распределению обоих токов. Первичный ток в катушке и вихревые токи в загрузке сконцентрированы друг против друга (эффект близости) и у поверхностей тел (скин-эффект). Последнее наиболее важно для индукционного нагрева и зависит от нескольких параметров. Мерой проявления скин-эффекта является глубина проникновения тока δ, определяемая как

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\kappa \mu f \pi}}, \qquad (7.6)$$

где μ – магнитная проницаемость материала. Глубина проникновения сильно зависит от частоты f первичного тока. Кроме того, свойства ферромагнитного материала изменяются при изменении температуры и интенсивности магнитного поля, так что глубина проникновения тока δ зависит также и от этих параметров.

Большое влияние глубины проникновения тока на процесс нагрева может быть показано на примере нагрева однородного полубесконечного плоского тела. Распределение всех компонентов электромагнитного поля, включая плотность тока, изменяется по экспоненциальному закону. Следовательно, распределение плотности мощности может быть записано как

$$p_x = p_0 e^{-\frac{2x}{\delta}}, \qquad (7.7)$$

где p_x – плотность мощности на расстоянии x от поверхности тела; p_0 – ее

уровень на поверхности. В поверхностном слое толщиной δ протекает около 63 % индуктированного тока и преобразуется в тепло 86 % мощности (рис. 7.13).

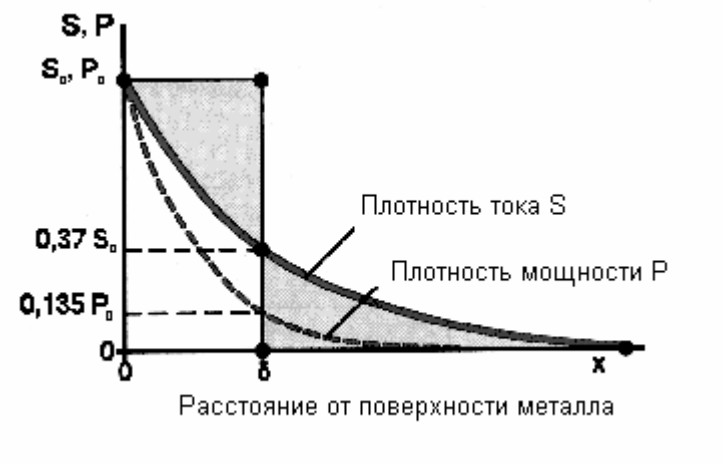


Рис. 7.13. Экспоненциальные кривые плотностей тока и мощности

Для того чтобы получить удобное упрощение, полагают, что весь наведенный ток распределен равномерно в поверхностном слое толщиной δ. Это допущение может быть распространено на цилиндрические тела, диаметр которых в несколько раз превышает глубину проникновения. В этом случае возможна грубая оценка требуемой мощности и распределения ее плотности.

Для создания хорошо работающей установки необходимо выявить путем моделирования индукционных процессов ее наилучшие параметры. В этом контексте очень важно определить электрический коэффициент полезного действия, который в случае цилиндрического тела может быть найден как

$$\eta_e = \frac{P_w}{P_w + P_i} = \frac{1}{1 + \frac{D \cdot l}{d \cdot h \cdot F(\frac{d}{\delta})} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{cu}}{\mu_r \cdot \rho \cdot f_{cu}}}} \quad , \qquad (7.8)$$

где P_w – мощность в загрузке и P_i – мощность потерь в индукторе, D и l

описывают геометрию индуктора, d и h – геометрию загрузки, p_{cu} – удельное сопротивление материала индуктора, f_{cu} – коэффициент заполнения индуктора и $F(d/\delta)$ – поправочный коэффициент, зависящий от относительных размеров поперечного сечения загрузки. Кривая на рис. 7.14 наглядно показывает связь между электрическим коэффициентом полезного действия и d/δ.

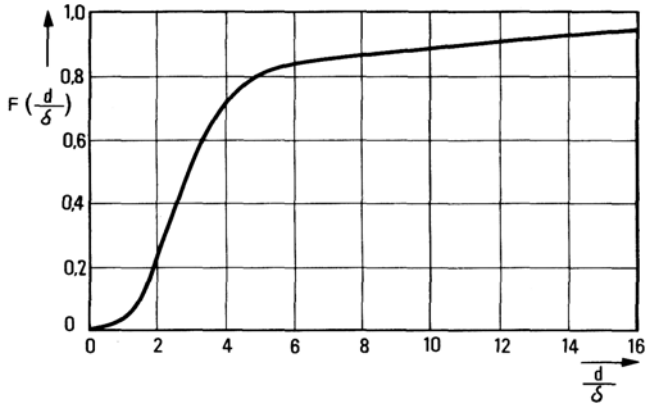


Рис. 7.14. Поправочный коэффициент $F(d/\delta)$

В зависимости от частоты тока отношение между диаметром загрузки d и глубиной проникновения δ изменяется, что сильно влияет на процесс нагрева. Если δ очень мала по сравнению с диаметром загрузки d, электрический коэффициент полезного действия весьма высок, но энергия выделяется только у поверхности загрузки. Этот тип нагрева удобен, например, для поверхностной закалки. Благодаря яркому скин-эффекту между индуктором и загрузкой существует хорошая связь и электрический коэффициент полезного действия высок.

С увеличением глубины проникновения или с понижением частоты коэффициент полезного действия уменьшается. При этом распределение температуры по сечению загрузки становится более равномерным (рис. 7.15). Оптимальное отношение d/δ при нагреве сплошного материала,

например, для ковки или отжига составляет 3,5 как приемлемый компромисс между электрическим коэффициентом полезного действия и равномерностью нагрева (рис. 7.16).

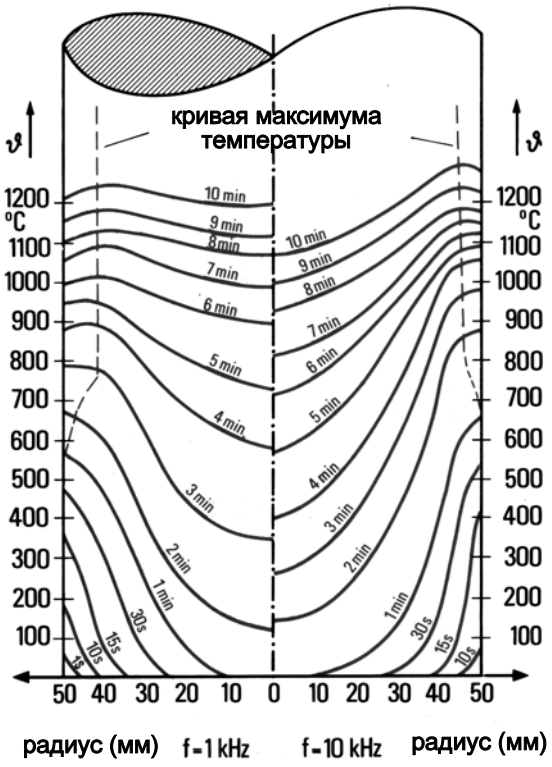


Рис. 7.15. Распределение температуры в цилиндрической загрузке (индукционный нагрев)

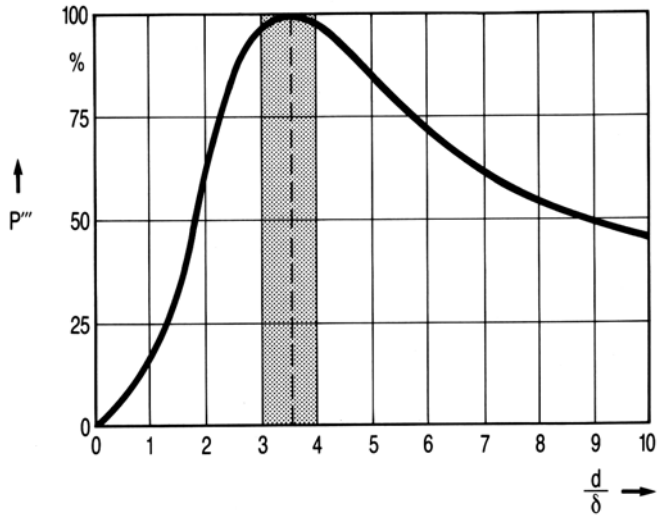


Рис. 7.16. Зависимость объемной удельной мощности от отношения d/δ

Электрический коэффициент полезного действия – это только одна составляющая полного КПД индукционной установки. Электрические потери в источнике питания (инверторе или согласующем трансформаторе), шинах и конденсаторах должны быть суммированы и учтены как КПД системы питания η_s.

Тепловые потери с поверхности горячей загрузки влияют на тепловой КПД η_{th}. С учетом всех описанных потерь полный КПД η индукционной установки записывается как

$$\eta = \eta_s \cdot \eta_{th} \cdot \eta_e . \qquad (7.11)$$

С точки зрения энергосбережения необходимо оптимизировать полный КПД установки.

Применения индукционного нагрева

Как было упомянуто выше, индукционный нагрев предоставляет широкие возможности для осуществления термических процессов. Кроме высокой плотности энергии и быстрого нагрева вследствие выделения тепла внутри загрузки он имеет и другие преимущества. Очень интересным с точки зрения качества изделий, потерь металла и стоимости процесса является более низкое образование окалины при индукционном нагреве по

сравнению с пламенным. В зависимости от геометрии индуктора возможен селективный нагрев с гибким управлением и более низким потреблением энергии по сравнению с другими методами. Для индукционного нагрева используется широкий диапазон частот: 50 Гц (промышленная частота), 50 Гц – 10 кГц (средние частоты), более 10 кГц (высокие частоты) в зависимости от рода и размеров загрузки и цели нагрева.

Индукционный нагрев в температурном диапазоне ниже точки плавления материалов широко применяется в процессах четырех классов. Важнейший из них – нагрев под обработку давлением – ковку (рис. 7.17), прокатку или экструзию. Вторичный ток должен быть распределен по поперечному сечению как можно более равномерно, чтобы нагреть весь материал ($d/\delta = 3…4$). При всех трех методах нагрева: периодическом, методическом и непрерывном, с целью оптимизации процесса, применяется авто-

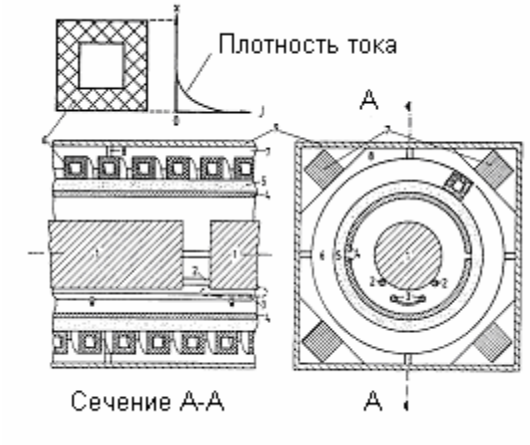


Рис. 7.17. Кузнечный индукционный нагреватель

матизация. Короткое время нагрева с малым образованием окалины обеспечивает чистоту обработки, что снижает себестоимость изделий. В дополнение к описанным процессам нагрева в продольном магнитном поле в последние годы повышенный интерес вызывает нагрев в поперечном магнитном поле. В этом случае индукторы размещаются по обе стороны плоской загрузки так, что она не охватывается первичным током. Основное направление магнитного потока перпендикулярно поверхности загрузки.

Эта технология наиболее эффективна при нагреве лент и листов. Она позволяет применять более низкую частоту при той же удельной мощности, что и при нагреве в продольном магнитном поле.

Второй важной областью применения индукционного нагрева является термообработка, например поверхностная закалка, отжиг и пайка. Поверхностный нагрев требует хорошей магнитной связи между индуктором и загрузкой, повышающей эффективность процесса. Хорошая связь означает точное согласование индуктора с загрузкой, позволяющее, кроме того, локализовать нагрев. Выбор соответствующей формы индуктора обеспечивает как хорошую связь, так и точный нагрев. В промышленности применяется как непрерывный, так и периодический нагрев. Для процессов термообработки используются средние и высокие частоты (от килогерца до мегагерца).

Третьей областью применения является нагрев с последующим разделением или соединением материала, т. е. под такие процессы, как сварка, пайка, разрыв. Непрерывная сварка шовных труб является примером такого применения. Сформованная из ленты трубная заготовка с продольной щелью охватывается одновитковым индуктором, который индуктирует в ней вторичный ток. Этот ток течет по боковым кромкам заготовки, замыкаясь через точку их схождения. Джоулево тепло, вызванное вторичным током, нагревает кромки, которые соединяются с помощью обжимных

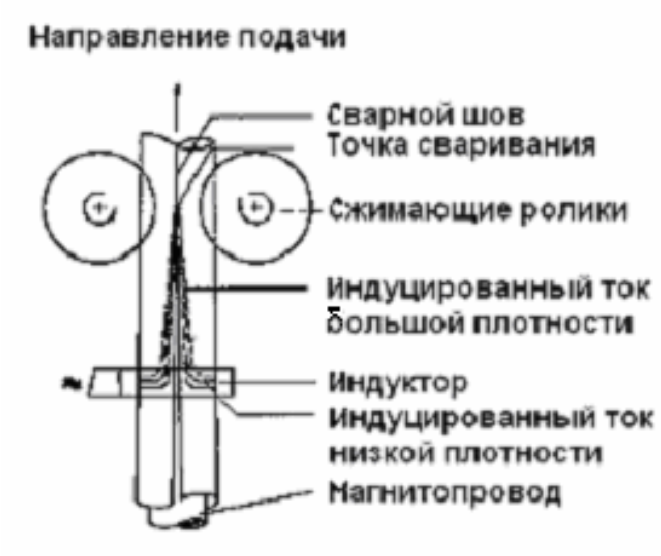


Рис. 7.18. Принцип непрерывной сварки труб

валков (рис. 7.18).

В четвертый класс могут быть объединены разнообразные индукционные нагреватели для специальных применений, например нагрева котлов, спекания материалов или зонной плавки полупроводников. Последняя является широко распространенным методом выращивания монокристаллов кремния. Вертикальный стержень поликристаллического кремния охватывается индуктором, который вызывает его расплавление в определенной области. При перемещении этой расплавленной зоны вверх под нею выращивается монокристалл кремния.

Экономика

Высокая эффективность процесса нагрева равносильна энергосбережению и автоматически ведет к экономичности технологии. Как было упомянуто выше, для повышения эффективности процессов индукционного нагрева необходимо принимать во внимание множество факторов. Важен правильный выбор частоты в соответствии с размерами загрузки и задачей нагрева. В этом контексте следует отметить, что генерирование частот в среднем и высокочастотном диапазонах (более 10 кГц) приводит к большим затратам. Точное согласование и хорошая связь между индуктором и загрузкой обеспечивают более высокий электрический КПД. Для получения коэффициента мощности $\cos \varphi$, близкого к единице, и снижения дорогой и неэффективной реактивной мощности необходимы конденсаторы. Эта компенсация обеспечивает более высокий общий КПД. Более экономичное и рациональное использование электрической энергии достигается также за счет уменьшения электрических потерь в индукторе. Один из методов, используемых в промышленности, состоит в применении многослойных индукторов, имеющих более низкое электрическое сопротивление. Кроме того, можно моделировать процессы нагрева с помощью численных программ на компьютерах для определения потенциальной возможности достижения лучших параметров установок, условий нагрева и

снижения энергопотребления. Это очень важно как при модернизации уже существующих индукционных нагревателей, так и при проектировании новых установок.

При создании новой нагревательной установки прежде всего необходимо решить, какая технология нагрева, электрическая или пламенная, предпочтительна с позиций экономики, экологии и качества изделия. После принятия решения в пользу индукционной нагревательной установки она должна быть оптимизирована описанными выше методами. Исследования показывают, что потребление энергии, CO_2-эмиссия и стоимость могут быть снижены при использовании электрического нагрева вместо пламенного.

Как пример, камерная газовая печь сравнивалась с кузнечным индукционным нагревателем. Общая (совокупная) энергия, требуемая для всего процесса нагрева, учитывалась путем анализа каждого этапа процесса. Вычисления были основаны на данных по преобразованию энергии на немецких электростанциях. В результате этих расчетов было установлено, что конечная энергия, необходимая для технологии индукционного нагрева, составляет половину потребности технологии пламенного нагрева (рис. 7.19).

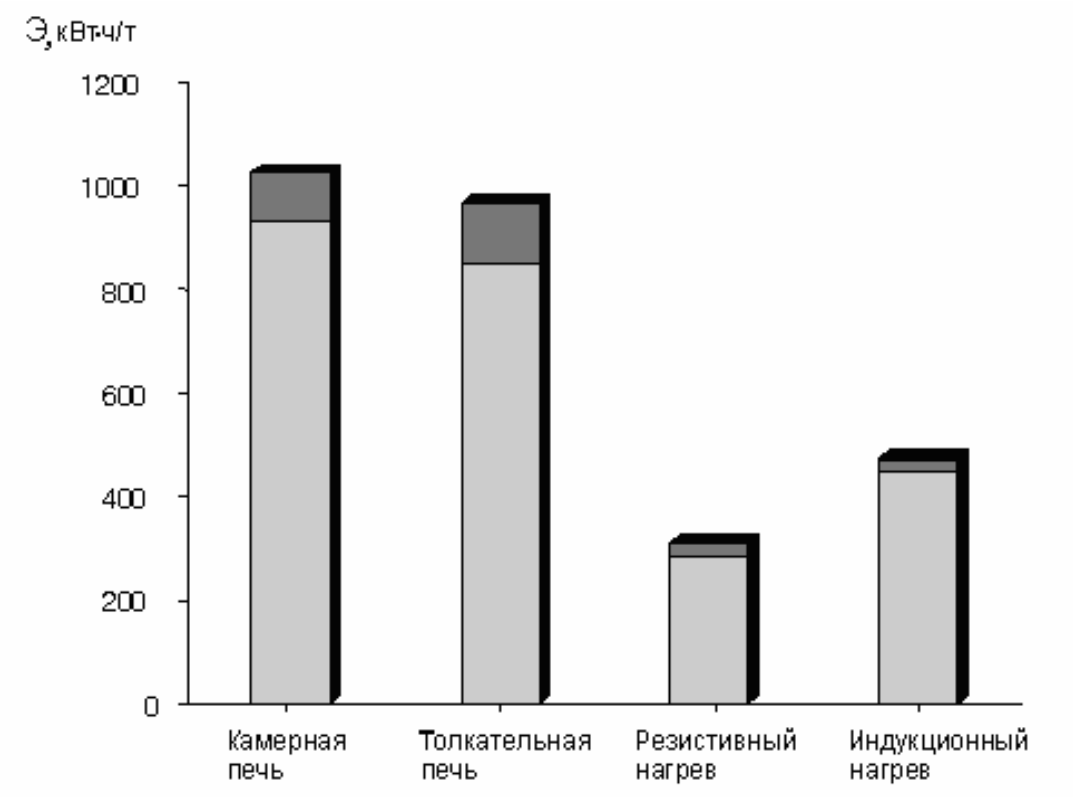


Рис. 7.19. Сравнение необходимой конечной энергии для нагрева материала различными технологиями для последующей кузнечной обработки:

Для пламенного нагрева очень высока доля энергии, необходимой для возмещения потерь металла (окалина). Кроме того, для пламенного нагрева должно использоваться большее количество сырья из-за более сильного окисления материала. Потребность в первичной энергии для индукционного нагрева иногда может быть несколько выше, чем для традиционных технологий, но множество преимуществ компенсируют этот недостаток.

Другой пример снижения энергопотребления и CO_2-эмиссии дает сравнение различных технологий нагрева кромок стальных полос (рис. 7.20).

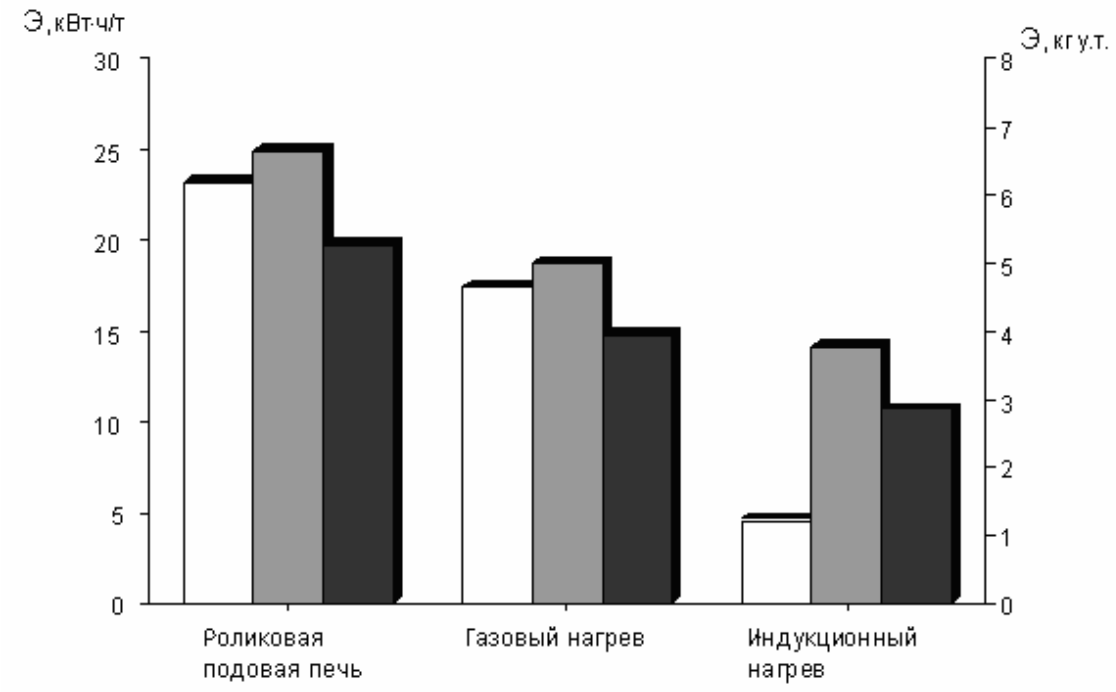


Рис. 7.20. Сравнение необходимой конечной и первичной энергии, а также CO_2-эмиссии при нагреве стальной ленты:

Благодаря эффективности индукционного нагрева при его применении необходимая конечная энергия снижается на 80 % по сравнению с показателями роликовой печи камерного типа и на 73 % – газовой пламенной печи. Балансы требуемой первичной энергии и CO_2-эмиссии также оказываются очень благоприятными для индукционного процесса, и, таким образом, этой технологии должно быть отдано предпочтение. Становится ясно, что при использовании электротехнологий возможна значительная экономия.

7.4. Индукционная плавка

Индукционная плавка – широко распространенный в черной и цветной металлургии процесс. Плавка в устройствах с индукционным нагревом нередко превосходит плавку в топливных печах по эффективности использования энергии, качеству продукта и гибкости производства. Эти пре-

имущества обусловлены специфическими физическими характеристиками индукционных печей.

Основные положения

При индукционной плавке происходит перевод твердого материала в жидкую фазу под воздействием электромагнитного поля. Так же как в случае индукционного нагрева, тепло выделяется в расплавляемом материале вследствие эффекта Джоуля от наведенных вихревых токов. Первичный ток, проходящий через индуктор, создает электромагнитное поле. Вне зависимости от того, концентрируется электромагнитное поле магнитопроводами или нет, связанная система индуктор – загрузка может быть представлена как трансформатор с магнитопроводом или как воздушный трансформатор. Электрический КПД системы сильно зависит от влияющих на поле характеристик ферромагнитных конструктивных элементов.

Наряду с электромагнитными и тепловыми явлениями в процессе индукционной плавки важную роль играют электродинамические силы. Эти силы должны учитываться, особенно в случае плавки в мощных индукционных печах. Взаимодействие индуктированных электрических токов в расплаве с результирующим магнитным полем вызывает механическую силу (силу Лоренца)

$$\vec{f} = \vec{S} \times \vec{B}\,, \tag{7.12}$$

которая изменяется от нуля до максимального значения с удвоенной частотой источника питания. Вследствие инерции массы расплава на него действует только усредненная во времени составляющая силы. Действие ее проявляется двояко. Во-первых, электромагнитное давление может привести к деформации поверхности расплава. Во-вторых, если силы в расплаве имеют вихревой характер, это заставляет расплав двигаться соответствующим образом (рис. 7.21). Наряду с описанным прямым действием сил на расплав происходят вторичные процессы тепло- и массопереноса.

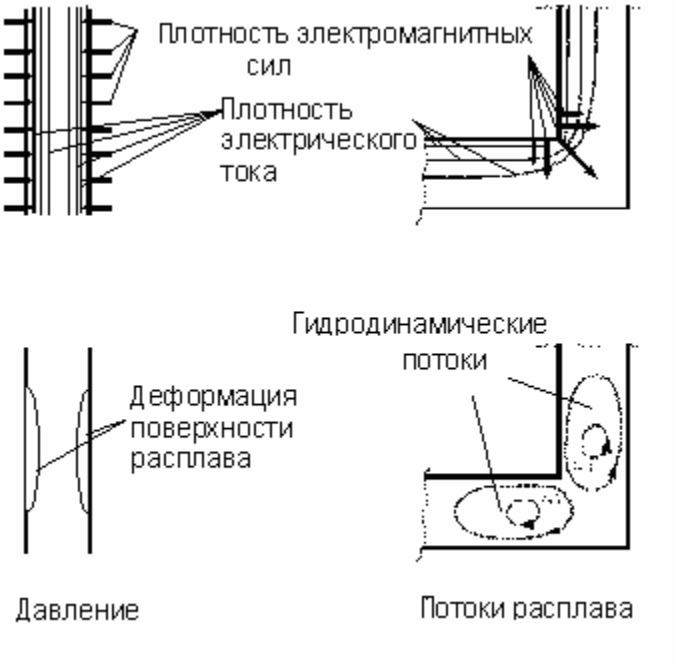


Рис. 7.21. Действие электромагнитных сил

Например, вызванное силами турбулентное движение расплава имеет очень большое значение как для хорошего теплообмена, так и для перемешивания и адгезии непроводящих частиц, находящихся в расплаве.

Применение индукционных печей

Различают два основных типа индукционных печей: индукционные тигельные печи (ИТП) и индукционные канальные печи (ИКП). В ИТП расплавляемый материал обычно загружается кусками в тигель (рис. 7.22). Индуктор охватывает тигель и расплавляемый материал. Из-за отсутствия концентрирующего поля магнитопровода электромагнитная связь между

индуктором и загрузкой сильно зависит от толщины стенки керамического тигля. Для обеспечения высокого электрического КПД изоляция должна быть как можно тоньше. С другой стороны, футеровка должна быть достаточно толстой для того, чтобы противостоять термическим напряжениям и

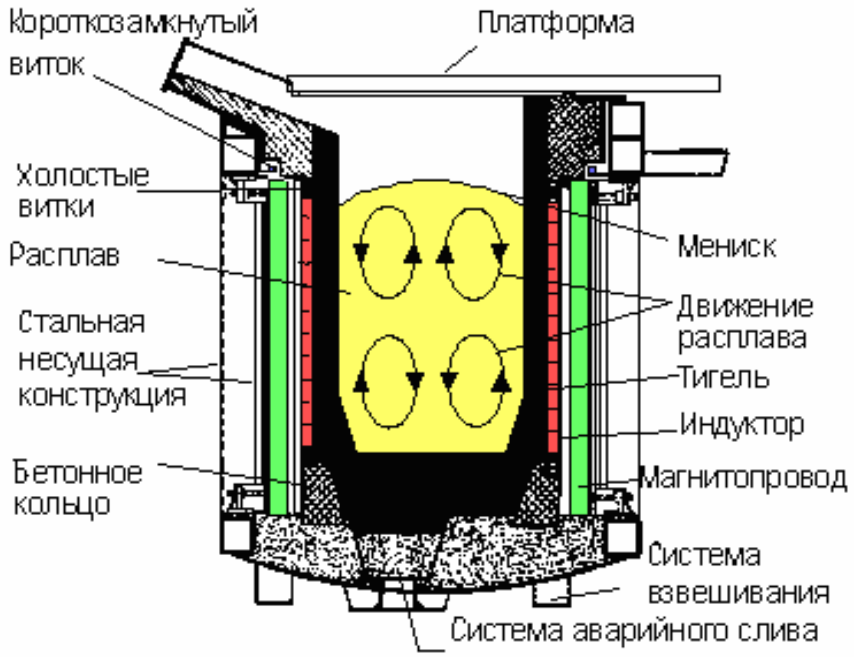


Рис. 7.22. Схема индукционной тигельной печи

движению металла. Следовательно, следует искать компромисс между электрическими и прочностными критериями.

Важными характеристиками индукционной плавки в ИТП являются движение расплава и мениск как результат воздействия электромагнитных сил. Движение расплава обеспечивает как равномерное распределение температуры, так и однородный химический состав. Эффект перемешивания у поверхности расплава снижает потери материала во время дозагрузки малоразмерной шихты и добавок. Несмотря на использование дешевого материала воспроизводство расплава постоянного состава обеспечивает высокое качество литья.

В зависимости от размеров, рода расплавляемого материала и области применения ИТП работают на промышленной частоте (50 Гц) или сред-

них частотах до 1000 Гц. Последние приобретают все более важное значение благодаря высокой эффективности при плавке чугуна и алюминия. Поскольку движение расплава при постоянной мощности ослабляется с повышением частоты, на более высоких частотах становятся доступными более высокие удельные мощности и, как следствие, большая производительность. Вследствие более высокой мощности сокращается время плавки, что ведет к повышению КПД процесса (по сравнению с печами, работающими на промышленной частоте). С учетом других технологических преимуществ, таких как гибкость при смене выплавляемых материалов, среднечастотные ИТП разработаны как мощные плавильные установки, доминирующие в настоящее время в чугунолитейном производстве. Современные мощные среднечастотные ИТП для плавки чугуна имеют емкость до 12 т и мощность до 10 МВт. ИТП промышленной частоты разрабатываются для больших емкостей, чем среднечастотные, до 150 т для плавки чугуна. Интенсивное перемешивание ванны имеет особое значение при выплавке однородных сплавов, например латуни, поэтому в этой области широко используются ИТП промышленной частоты. Наряду с применением тигельных печей для плавки в настоящее время их используют также для выдержки жидкого металла перед разливкой.

В соответствии с энергетическим балансом ИТП (рис. 7.23) уровень электрического КПД почти для всех типов печей составляет около 0,8. Приблизительно 20 % исходной энергии теряется в индукторе в виде Джоулева тепла. Отношение тепловых потерь через стенки тигля к индуктированной в расплаве электрической энергии достигает 10 %, поэтому полный КПД печи составляет около 0,7.

Вторым широко распространенным типом индукционных печей являются ИКП. Они применяются для литья, выдержки и, особенно, плавки в черной и цветной металлургии. ИКП в общем случае состоит из керамической ванны и одной или нескольких индукционных единиц (рис. 7.24). В принципе, индукционная единица может быть представлена как трансфор-

матор с ферромагнитным сердечником. Индуктор является его первичной обмоткой, а заполненный расплавом канал, устья которого открываются в ванну, представляет собой вторичный короткозамкнутый виток.

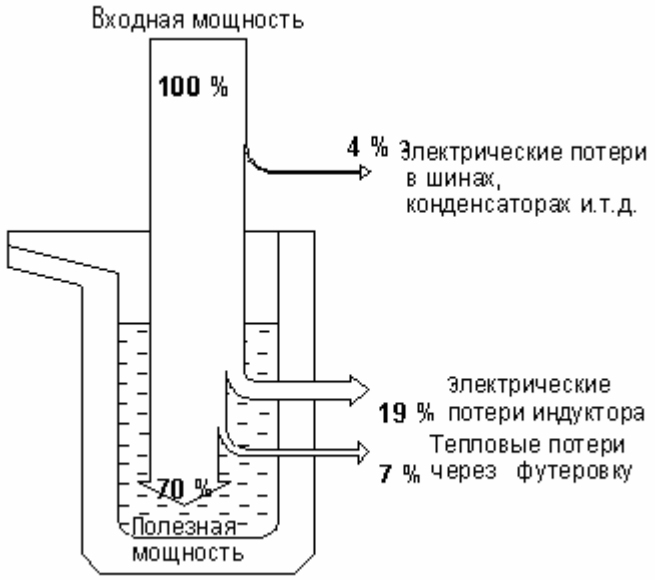


Рис. 7.23. Энергетический баланс ИТП

Принцип действия ИКП требует наличия постоянно замкнутого вторичного витка, поэтому эти печи работают с жидким остатком расплава. Полезное тепло генерируется главным образом в канале, имеющем малое сечение. Циркуляция расплава под действием электромагнитных и термических сил обеспечивает достаточный перенос тепла в основную массу расплава, находящуюся в ванне. До настоящего времени ИКП проектировались на промышленную частоту, однако исследовательские работы проводятся и для более высоких частот. Благодаря компактной конструкции печи и очень хорошей электромагнитной связи ее электрический КПД достигает 95%, а общий КПД – 80 % и даже 90 % в зависимости от расплавляемого материала.

В соответствии с технологическими условиями в разных областях применения ИКП требуются различные конструкции индукционных каналов. Одноканальные печи используются в основном для выдержки и литья,

реже плавки стали при установленных мощностях до 3 МВт. Для плавки и выдержки цветных металлов предпочтительнее двухканальные конструкции, обеспечивающие лучшее использование энергии. В установках для плавки алюминия каналы выполняются прямыми для удобства очистки.

Производство алюминия, меди, латуни и их сплавов является основной областью применения ИКП. Сегодня наиболее мощные ИКП емкостью

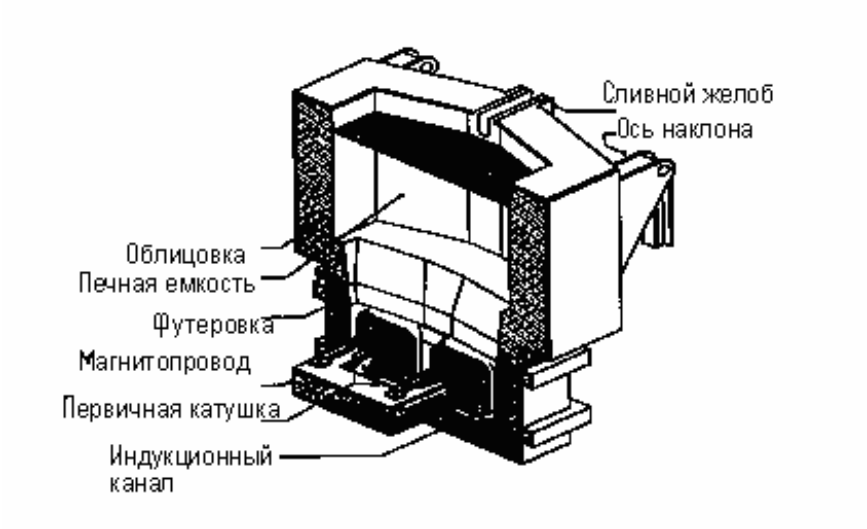


Рис. 7.24. Схема индукционной канальной печи

до 70 т и мощностью до 3 МВт используются для плавки алюминия. Наряду с высоким электрическим КПД в производстве алюминия очень важны низкие потери расплава, что и предопределяет выбор ИКП.

Перспективными применениями технологии индукционной плавки являются производство высокочистых металлов, таких как титан и его сплавы, в индукционных печах с холодным тиглем и плавка керамики, например силиката циркония и оксида циркония.

Экономика

При плавке в индукционных печах ярко проявляются преимущества индукционного нагрева, такие как высокая плотность энергии и производительность, гомогенизация расплава благодаря перемешиванию, точный

энергетический и температурный контроль, а также простота автоматического управления процессом, легкость ручного управления и большая гибкость. Высокие электрический и тепловой КПД в сочетании с низкими потерями расплава и, следовательно, экономией сырья обусловливают низкий удельный расход энергии и экологическую конкурентоспособность.

Превосходство индукционных плавильных устройств над топливными непрерывно возрастает благодаря практическим исследованиям, подкрепленным численными методами решения электромагнитной и гидродинамической задач. В качестве примера можно отметить внутреннее покрытие медными полосами стального кожуха ИКП для плавки меди. Уменьшение потерь от вихревых токов повысило КПД печи на 8 %, и он достиг 92 %.

Дальнейшее улучшение экономических показателей индукционной плавки возможно за счет применения современных технологий управления, таких как тандем или управление двойным питанием. Две ИТП тандема имеют один источник питания, и пока в одной идет плавка, в другой расплавленный металл выдерживается для разливки. Переключение источника питания с одной печи на другую повышает коэффициент его использования. Дальнейшим развитием этого принципа является управление двойным питанием (рис. 7.25), которое обеспечивает продолжительную одновременную работу печей без переключения с помощью специальной автоматики управления процессом. Следует также отметить, что неотъемлемой частью экономики плавки является компенсация общей реактивной мощности.

В заключение для демонстрации преимуществ энерго- и материалосберегающей индукционной технологии можно сравнить топливный и электротермический способы плавки алюминия. Рис. 7.26 показывает значительное снижение энергопотребления на тонну алюминия при плавке в

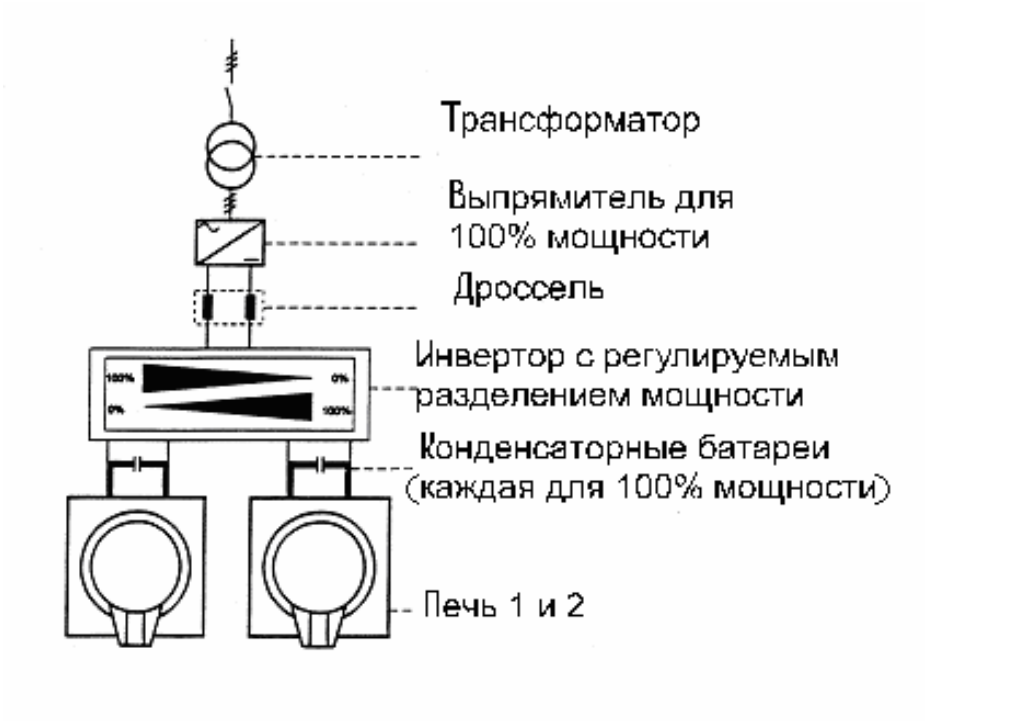


Рис. 7.25. Принцип управления двойным питанием

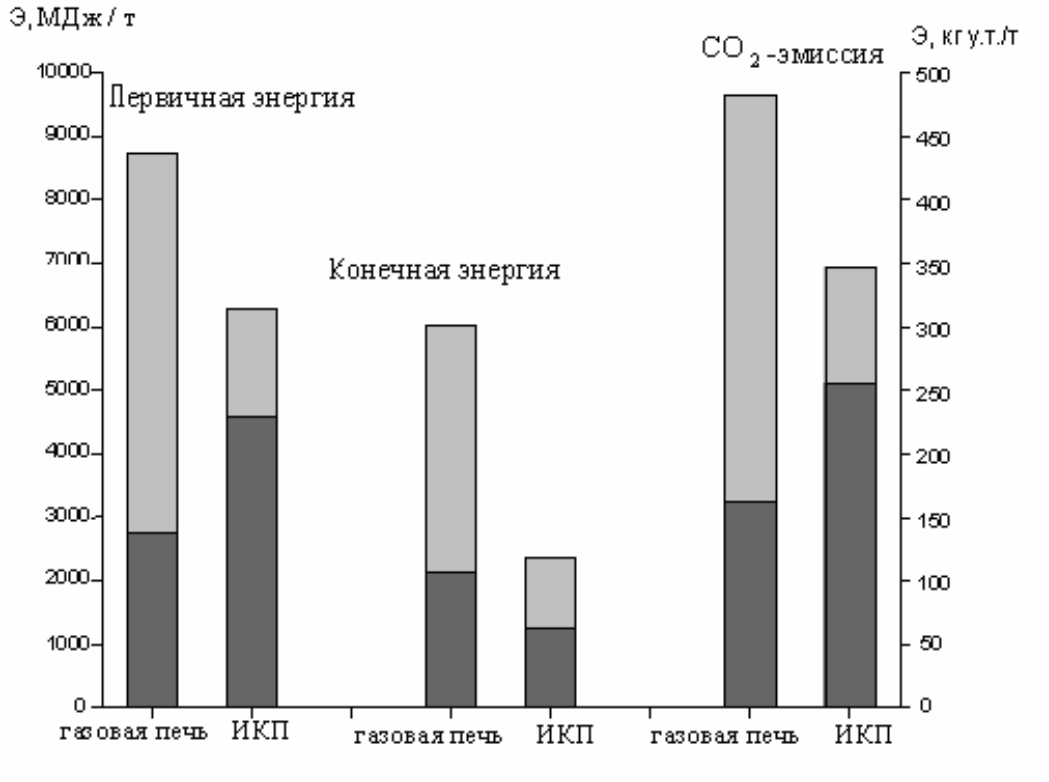


Рис. 7.26. Потребление энергии и CO_2-эмиссия при производстве алюминия в больших печах:

индукционной канальной печи емкостью 50 т. Потребляемая конечная энергия уменьшается примерно на 60 %, а первичная на 20 %. Наряду с этим значительно сокращается выброс CO_2. (Все расчеты основываются на типичных для Германии коэффициентах преобразования энергии и выделения CO_2 при работе смешанных электростанций). Полученные результаты подчеркивают особое влияние потерь металла при плавке, связанных с его окислением. Их компенсация требует большого дополнительного расхода энергии. Примечательно, что в производстве меди потери металла при плавке также велики и должны учитываться при выборе той или иной технологии плавки.

Контрольные вопросы

1. Какие преимущества электротехнологий вы можете назвать?
2. Чем можно объяснить то, что индукционный нагрев получил последние годы наиболее широкое развитие?
3. В чем преимущества индукционных плавильных печей по сравнению с пламенными?

8. Системы и узлы учета расхода энергоресурсов

8.1. Общие положения

Требования к экономии и рациональному использованию тепловой энергии, расходу жидкого и газообразного топлива сегодня в России возведены в ранг государственной политики.

В этой связи одной из важнейших в области энергосбережения стала проблема создания надежных, с требуемой точностью, средств измерений. Актуальной остается проблема создания приборов, достаточно простых в эксплуатации и по ценам, доступным основной массе российских потребителей.

Сегодня российский рынок средств измерений наполнен большим количеством измерительных приборов, выпускаемых как зарубежными фирмами, так и отечественными предприятиями, но, к сожалению, имеющих в отдельных случаях сомнительные показатели качества, которые требуют проверки.

Для защиты прав потребителей от некачественной продукции в России введена обязательная сертификация. Разрешительными органами проводятся испытания каждого типа приборов независимо от места выпуска и предназначения. В случае положительных результатов испытаний выдается сертификат утверждения типа средства измерения, который является документом, разрешающим применение данного средства измерения в России. Его назначение, основные технические и эксплуатационные характеристики приведены в обязательном приложении к сертификату.

Каждым потребителем (это может быть предприятие или объект коммунального хозяйства, это может быть квартиросъемщик или хозяин дома и т.д.) сегодня ставятся вопросы: нужен ли прибор, который бы учитывал расход энергоресурсов, какие средства измерения выпускаются, каковы их технические характеристики, надежность, во что обойдется уста-

новка прибора, эксплуатация, имеется ли сервисное обслуживание и кто его осуществляет, даст ли установка приборов экономическую выгоду? Следует также отметить, что в последнее время наблюдается рост расхода энергоресурсов, вызванный приростом объемов валового внутреннего продукта.

При использовании какого-либо метода измерения расхода среды необходимо связать скорость среды с определенными физическими характеристиками среды, которые имеют однозначную зависимость от ее скорости и которые могут быть измерены приборами. Широко применяемыми для измерения расхода различных сред являются следующие методы:

- переменного перепада давления среды на сужающем устройстве;
- вихревой;
- гидродинамический;
- тахометрический;
- силовой.

В числе методов, пригодных для измерения расхода главным образом жидкостей, используются:

- ультразвуковой;
- электромагнитный.

В данном учебнике не ставится задача рассмотрения принципов, положенных в основу измерения расхода перечисленными выше методами. Ознакомиться с ними можно в [14, 23].

В [24] предлагается перечень методов измерений основных показателей энергоэффективности изделий (табл. 8.1). Следует учитывать, что подтверждение показателей энергетической эффективности проводят на различных стадиях жизненного цикла продукции. Оно включает в себя в общем случае операции по определению потребления (потерь) энергии при разработке и изготовлении изделий; по контролю экономичности энергопотребления изготовляемых, изготовленных, модернизированных и

Таблица 8.1

Методы измерений основных показателей энергоэффективности изделий

Показатель	Метод измерения	Измеряемый параметр	Расчетная формула	Применяемый прибор
Расход топлива G_T, кг/ч	Объемный метод Массовый метод	Объем израсходованного топлива ΔV, см^3 Плотность топлива $p_т$, г/см^3 Продолжительность измерения t, с Масса топлива, израсходованного за время замера ΔG, г Продолжительность измерения t, с	$G_T = 3{,}6\ \Delta V\ p_т / t$ $G_T = 3{,}6\ \Delta G\ /\ t$	Мерная емкость Пикнометр (ареометр) Секундомер Весы Секундомер
Расход топлива g_T, дм^3/с	Прямое измерение Объемный метод	Расход топлива Объем израсходованного топлива $V_т$, дм^3 Продолжительность измерения t, с	– $g_t = V\ t$	Топливный расходомер Мерная емкость Секундомер
Расход топлива g_T, г/с	Объемный метод	Объем израсходованного топлива $V_т$, см^3 Плотность топлива $p_т$, г/см^3 Продолжительность измерения t, с	$g_t = V_т\ p_т\ /\ t$	Мерная емкость Пикнометр (ареометр) Секундомер
Потребляемая электрическая энергия постоянного и переменного тока W, Вт·с (кВт·ч)	Прямое измерение Косвенный метод	Потребляемая электрическая энергия Мощность потребления P, Вт Продолжительность измерения t, с (ч) Напряжение сети U, В Потребляемый ток I, А Продолжительность измерения t, с	– $W = P\ /\ t;$ $W = U\ I\ t$	Счетчик активной электроэнергии Ваттметр Секундомер (часы) Вольтметр Амперметр Секундомер (часы)
Потребляемая электрическая энергия в цепи постоянного тока P, Вт (кВт)	Прямое измерение Косвенный метод	Измерение электрической мощности в цепи постоянного тока Напряжение сети U, В Потребляемый ток I, А Активное электрическое сопротивление R, Ом	– $P = U\ t;$ $P = I^2R = U^2/R$	Ваттметр постоянного тока Вольтметр постоянного тока Амперметр постоянного тока Омметр, мегаомметр, измерительный мост

Окончание табл. 8.1

Показатель	Метод измерения	Измеряемый параметр	Расчетная формула	Применяемый прибор
Потребляемая электрическая энергия в цепи переменного тока P, Вт (кВт)	Прямое измерение Косвенный метод	Измерение электрической мощности в цепи переменного тока Напряжение сети U, В Потребляемый ток I, А Фазовый сдвиг между напряжением и током φ	– $P = U/\cos\varphi$	Ваттметр переменного тока Вольтметр переменного тока Амперметр переменного тока Фазометр
Потребляемая электрическая энергия и (или) мощность в сети высоковольтного переменного тока W, Вт·с (кВт·ч); P, Вт (кВт)	Прямое измерение с применением измерительных трансформаторов	Измерение электрической энергии $W_{сч}$ и (или) мощности P_w с учетом коэффициентов трансформации: • трансформатора тока K_I • трансформатора напряжения K_U	$W_р = W_{сч} K_I \cdot K_U$; $P = P_w K_I \cdot K_U$	Счетчик электрической энергии Ваттметр переменного тока Измерительные трансформаторы тока и напряжения
Потребляемая электрическая энергия и (или) мощность в сети низковольтного переменного тока с током больше допустимого тока счетчика и (или) ваттметра W, Вт·с (кВт·ч); P, Вт (кВт)	Прямое измерение с применением измерительного трансформатора тока	Измерение электрической энергии $W_{сч}$ и (или) мощности P_w с учетом коэффициента трансформации трансформатора тока K_I	$W = W_{сч} K_I$; $P = P_w K_I$	Счетчик электрической энергии; Ваттметр переменного тока; Измерительный трансформатор
Расход гидравлической жидкости Q, дм^3/мин	Прямое измерение Объемный метод Весовой метод	Расход гидравлической жидкости Объем жидкости V, дм^3 Продолжительность замера t, с Рабочий объем тарированного гидромотора V_0, см^3 Частота вращения тарированного гидромотора n, с$^{-1}$	– $Q = 60V/t$ $Q = V_0 n \cdot 10^3$	Тахометрический расходомер Мерная емкость Счетчик жидкости Секундомер Счетчики, электронные частотомеры

193

отремонтированных изделий; оценке экономичности энергопотребления изделий при эксплуатации; проверке соответствия показателей энергетической эффективности нормативным требованиям независимыми организациями, в том числе при сертификации.

Объектами подтверждения показателей энергетической эффективности являются все изделия, при использования которых по назначению применяется топливо или различного вида энергия [24].

8.2. Общие вопросы учета энергоресурсов

При учете энергоресурсов важно осуществить рациональный выбор оборудования и приборов, обеспечивающих учет энергоресурсов. Из всего комплекса параметров, измеряемых при учете энергоресурсов, наиболее значимым является расход среды. Расходомеры характеризуются набором технических, метрологических и эксплуатационных характеристик. К числу технических характеристик можно отнести следующие [23]:

- метод измерения расхода;
- соответствие допустимых параметров расходомера характеристикам измеряемой (давление, температура, влажность, запыленность потока и др.) и внешней (температура, давление, влажность, взрывоопасная среда, наличие электромагнитных полей и др.) сред;
- диапазон диаметров расходомера;
- рабочий диапазон расхода;
- динамический диапазон расхода (отношение минимального расхода к максимальному при условии соблюдения требуемой точности измерений);
- требования к протяженности прямолинейных участков до и после первичного преобразователя расхода, установленного на трубопроводе;
- тип выходного сигнала (аналоговый, дискретный и пр.);
- необходимость энергопитания.

К числу метрологических характеристик относятся:

- значение основной и дополнительной погрешности;
- метод поверки и межповерочный интервал;
- возможность раздельной поверки расходомера, являющегося компонентом измерительной системы (поверка расходомера теплосчетчика возможна только как поверка единого средства измерения).

К числу эксплуатационных характеристик относятся:

- необходимость проведения регламентных работ по обслуживанию средства измерения;
- метод поверки расходомера: проливной, требующий поверки расходомера на специальном стенде, и беспроливной, позволяющий поверить расходомер без демонтажа первичного преобразователя.

Использование для учета энергоресурсов конкретных приборов или систем требует определенных эксплуатационных затрат. В то же время при организации учета энергоресурсов, особенно в условиях коммерческого учета, существенное значение имеет оценка возможных потерь, обусловленных определенной неточностью измерения расхода энергоресурсов, и возможных потерь, обусловленных потерей работоспособности оборудования узла учета тепловой энергии.

Приведем оценку затрат и возможных потерь при измерении расхода природного газа и при измерении тепловой энергии в виде пара и горячей воды, используя основные положения методики, изложенной в [25]. При оценке рассмотрим следующие составляющие затрат:

- затраты, связанные с приобретением и установкой оборудования учета;
- эксплуатационные текущие затраты;
- затраты, обусловленные потерей энергии при перепаде давления на измерительном трубопроводе и в первичном преобразователе;
- затраты, связанные с поверкой средств измерений.

Затраты, связанные с приобретением оборудования и его установкой,

определяются сложившимся уровнем цен на оборудование и установку оборудования и отнесены на десятилетний срок эксплуатации. Потеря давления среды на измерительном участке и в первичном преобразователе вызывает дополнительные затраты мощности нагнетателя (насоса, компрессора и других устройств). Затраты, связанные с поверкой средств измерений, рассчитаем средними за десятилетний период эксплуатации, поскольку межповерочный интервал колеблется от одного года до 5 – 10 лет.

В таблице 8.2 приведены годовые затраты и возможные потери, связанные с работой узлов учета природного газа, обеспечивающих коммерческий учет природного газа в отопительной котельной при значении среднего расхода газа 1000 нм^3/ч и стоимости газа 900 руб./1000 нм^3.

В качестве вариантов узлов учета природного газа, оборудованных в соответствии с нормативными документами [26, 27], приняты следующие:

- узел учета природного газа на основе стандартного сужающего устройства – диафрагмы с использованием вычислителей (комплект № 1);
- узел учета природного газа на основе турбинного счетчика типа СГ-16М (комплект № 2);
- узел учета природного газа на основе вихревого расходомера типа ВРСГ (комплект № 3).

Следует иметь в виду, что затраты, связанные с потерями энергии на преодоление сопротивления среды, несет газоснабжающая организация. Как видно из последней строки табл. 8.2, возможная потеря (прибыль), обусловленная неточностью измерения расхода, имеет существенное значение, поэтому в узлах коммерческого учета природного газа следует применять средства измерения, позволяющие выполнять измерения расхода газа с минимальной погрешностью.

Приведем аналогичные сравнительные расчеты при работе узла учета тепловой энергии, установленного у потребителя. Затраты, связанные с потерей работоспособности узла учета тепловой энергии, обусловлены восстановлением его работы и переходом на взаиморасчеты за тепловую

энергию по расчетной договорной нагрузке. В соответствии с [28] максимально допустимый срок, в течение которого допускается отказ в работе оборудования узла учета тепловой энергии, составляет 15 сут./год. При расчете этих затрат примем, что экономия потребителя по оплате тепловой энергии, связанная с расчетами за тепловую энергию по показаниям узла учета, составляет 10 % от расходов на тепловую энергию.

Таблица 8.2

Затраты и возможная потеря при учете природного газа

Затраты и возможная потеря, руб. /год	Комплект №1	Комплект №2	Комплект №3
1. Затраты, связанные с приобретением и установкой узла учета, отнесенные на 10 лет эксплуатации	12000	14500	11000
2. Эксплуатационные затраты	2000	1000	1000
3. Затраты, связанные с потерей энергии на преодоление сопротивления среды	12500	1500	950
4. Затраты, связанные с расходами на поверку средств измерений узла учета	2500	1300	1400
5. Общие годовые затраты	29000	18300	13350
6. Возможные потери, обусловленные неточностью измерения расхода	± 175450	± 118260	± 78840

В качестве вариантов узлов учета тепловой энергии в виде пара примем следующие:

• узел учета тепловой энергии на основе стандартного сужающего устройства диафрагмы (комплект №1);

• узел учета тепловой энергии на основе счетчика пара типа СВП (комплект № 2);

• узел учета тепловой энергии на основе гидродинамического расходомера фирмы *Honeywell*.

Результаты расчетов для случая потребления пара в количестве 10 т/ч с давлением 1 МПа (10 ата) и температурой 210 °С приведены в

табл. 8.3.

В качестве вариантов для сравнения узлов учета тепловой энергии в виде горячей воды приняты следующие варианты:

• узел учета тепловой энергии при использовании электромагнитных расходомеров (комплект № 1);

• узел учета тепловой энергии при использовании вихревых расходомеров (комплект № 2);

• узел учета тепловой энергии при использовании ультразвуковых расходомеров (комплект № 3).

Таблица 8.3

Затраты и возможные потери, связанные с работой узла учета тепловой энергии

Затраты и возможная потеря, руб./год	Комплект №1	Комплект №2	Комплект №3
1 . Затраты, связанные с приобретением и установкой узла учета, отнесенные на 10 лет эксплуатации	13000	14000	25000
2. Эксплуатационные затраты	2500	2000	2000
3. Затраты, связанные с потерей энергии на преодоление сопротивления среды	35000	8000	6000
4. Затраты, связанные с расходами на поверку средств измерений узла учета	2500	3500	5000
5. Общие годовые затраты	53000	27500	38000
6. Возможные потери, обусловленные неточностью измерения тепловой энергии	± 441500	± 490560	± 331128
7. Возможные потери, обусловленные потерей работоспособности узла учета	± 7500	± 7500	± 7500

Результаты расчетов для случая потребления тепловой энергии 1 Гкал/ч, подаваемой по температурному графику 120/70 °С, приведены в табл. 8.4.

Как видно из табл. 8.2 - 8.4, суммарные затраты существенно изме-

няются в зависимости от соответствующего комплекта узла учета энергоресурсов. Следует также отметить, что возможные потери, обусловленные неточностью измерения расхода или тепловой энергии, могут быть сравнимы с экономией средств, вызванной оборудованием узла учета энергоресурсов.

В целом при практическом выборе и использовании систем и узлов учета энергоресурсов кроме стоимостных следует учитывать и ряд других критериев, которые целесообразно принимать к рассмотрению и выделять в зависимости от конкретных условий эксплуатации: организационные, нормативные, эксплуатационные (для определенной системы теплоснабжения), технические, метрологические, интерфейсные, эксплуатационные (с точки зрения обслуживания оборудования), адаптационные.

Таблица 8.4

Затраты и возможные потери, связанные с работой узла учета тепловой энергии

Затраты и возможная потеря, руб./год	Комплект №1	Комплект №2	Комплект №3
1 . Затраты, связанные с приобретением и установкой узла учета, отнесенные на 10 лет эксплуатации	11000	8500	10000
2. Эксплуатационные затраты	1000	1500	1000
3. Затраты, связанные с потерей энергии на преодоление потерь давления	6200	60000	8500
4. Затраты, связанные с расходами на поверку средств измерений узла учета	1600	2500	2500
5. Общие годовые затраты	19800	72500	22000
6. Возможные потери, обусловленные неточностью измерения тепловой энергии	± 56000	± 61300	± 69200
7. Возможные потери, обусловленные потерей работоспособности узла учета	± 7200	± 7200	± 7200

8.3. Использование средств учета и регулирования расхода энергоресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве

Проблемы и масштабы энергетических затрат в жилищно-коммунальном хозяйстве широко известны. Одна из особенностей здесь – условия конкретного региона (субъекта федерации, крупного населенного пункта и т.д.). Эти особенности могут заметно влиять на выбор конкретных узлов учета расхода энергоресурсов, масштабы их использования для поквартирного учета, порядок согласования их установки и правил обслуживания и многое другое. Попытаемся показать особенности использования средств учета и регулирования расхода энергоресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве на примере Свердловской области.

Анализ данных за 1998 – 2001 гг. по использованию в г. Екатеринбурге и в целом в Свердловской области приборов учета расхода тепла на отопление и горячее водоснабжение (без осуществления каких-либо работ по экономии энергии) показал, что предъявленный и оплачиваемый расход тепла по жилому фонду превышает фактический на 25 – 30 %. Например, фактический расход горячей воды по областным учреждениям здравоохранения оказался в 2 – 3 раза меньше предъявляемого к оплате. Надо учитывать и то, что уменьшение оплачиваемого количества горячей и холодной воды сокращает также затраты на канализацию стоков. По оценке организаций, устанавливающих теплосчетчики, затраты на их установку возмещаются за период от двух до шести месяцев. Однако наряду с примерами существенного снижения платы за тепло и воду можно привести примеры, когда платежи не снижаются или снижаются в гораздо более скромных размерах. Все зависит от того, насколько успешно удается энергоснабжающей организации списывать на потребителя свои утечки и потери.

Таким образом, установка теплосчетчиков целесообразна по следующим причинам:

• упорядочивание расчетов и исключение необоснованных платежей. После установки приборов вы можете быть уверены, что платите только за то тепло, которое потребляете;

• хотя установка приборов учета не создает экономии, она является первым необходимым шагом в программе мероприятий по экономии энергии. Без учета потребления энергоресурсов невозможно ни планировать, ни реализовать, ни контролировать проводимые мероприятия по энергосбережению;

• принципиальное положение Федерального закона «Об энергосбережении» о всеобщем переходе на приборный учет энергоресурсов медленно, но неуклонно реализуется во множестве федеральных и региональных нормативов, предусматривающих (кроме прочего) введение льгот и поощрений, с одной стороны, и санкции и штрафов – с другой.

С чего лучше начать мероприятия по установке приборов учета?

1. Как правило, надежнее доверить выбор типа прибора учета специализированной (лицензированной) организации, а потребителю лучше заняться другими вопросами – обеспечением финансирования и поиском внушающей доверие организации, которая выполнит работу и возьмет на себя ответственность за дальнейшее функционирование прибора.

2. Если вы не уверены, что установка приборов учета на отопление и горячее водоснабжение даст существенную экономию, следует обратиться в организацию, выполняющую энергетические обследования. По результатам ее работы вы сможете принять оптимальное решение.

3. Необходимо заблаговременно получить технические условия от энергоснабжающей организации на установку приборов учета.

4. На основании полученных технических условий должен быть разработан и согласован с энергоснабжающей организацией проект узла учета.

Наиболее удобно воспользоваться услугами организаций, которые выполняют весь комплекс работ: энергообследование, проектирование, монтаж, наладку со сдачей «под ключ» узла учета расхода энергии. Как правило, монтажные организации работают с одним, редко с двумя – тремя типами счетчиков, поэтому выбор монтажной организации определяет

практически выбор типа узла учета.

Функциональная номенклатура приборов, необходимых для реализации приборного учета тепла и теплоносителей, включает в себя расходомеры пара, счетчики воды (горячей и холодной), счетчики пара, теплосчетчики, вычислители, распределители затрат тепла, датчики температуры, манометры, дифманометры.

Кроме того, для выполнения функций регистрации учитываемых параметров во времени в ряде случаев могут оказаться необходимыми таймеры и принтеры.

Ключевую роль в этой номенклатуре играют приборы измерения расхода теплоносителей и количества тепла. В первичных преобразователях этих приборов используются разнообразные методы измерения. В настоящее время выпускаются приборы измерения расхода и количества (счетчики) теплоносителей, основанные на методе переменного перепада (дифманометрические) с сужающими устройствами разного типа и с интегрирующими трубками. Широко применяются тахометрические приборы с преобразователями крыльчатого и турбинного типа. Все большее применение находят электромагнитные преобразователи расхода с полем возбуждения, охватывающим канал, и с преобразователями локального типа; ультразвуковые с времяимпульсными, доплеровскими и корреляционными преобразователями; вихревые с различными способами съема пульсации. В последнее время начинают применяться для этой цели кориолисовые преобразователи с прямыми и изогнутыми мерными участками труб, а также приборы, использующие струйные генераторные преобразователи.

Решение проблемы приборного обеспечения энергосбережения начинается с выбора номенклатуры приборов учета. При этом необходимо для каждого конкретного случая выбрать оптимальный метод измерения и тип прибора.

Выбирая метод измерения расхода, необходимо учесть:

- ограничения длин прямолинейных участков для установки приборов;

• минимальное измеряемое значение скорости течения теплоносителя;

• требуемый динамический диапазон измерения;

• ограничения по возможным потерям давления в системе;

• вероятность наличия в воде различных примесей (абразива, окалины, пузырьков воздуха и т.д.),

• вероятность наличия в воде примесей, ведущих к образованию пленки или осадка на внутренней поверхности трубы.

Большое разнообразие приборов, рекомендованных к применению для коммерческого учета (счетчиков-расходомеров – около 100, теплосчетчиков – более 90 и более 20 вычислителей), также осложняет выбор конкретного типа.

Выбирая конкретный тип прибора, следует учесть:

• необходимый диапазон измерения,

• требуемую точность,

• условия эксплуатации прибора (температура окружающей среды, влажность и запыленность воздуха, наличие внешнего электромагнитного поля и т.п.),

• условия монтажа (длина прямолинейного участка, расстояние от датчика до вторичного прибора, пространственная ориентация и т.п.),

• необходимость выполнения и вид дополнительных функций,

• наличие средств периодической поверки,

• продолжительность межповерочного интервала,

• срок службы,

• цену.

Коммерческими, т.е. принятыми для расчетов между поставщиком (продавцом) и покупателем (потребителем тепла и воды), признаются приборы, удовлетворяющие следующим требованиям:

• прибор внесен в Госреестр РФ средств измерений;

• прибор должен иметь клеймо, подтверждающее срок очередной поверки;

• погрешность прибора находится в пределах установленных норм точности измерений;

• область применения прибора, указанная в заводском паспорте, соответствует реальным условиям использования (например, прибор для измерения расхода холодной воды не может быть применен для измерения расхода горячей воды);

• диапазон измерений, указанный в паспорте прибора (максимальный и минимальный расход теплоносителя), соответствует режимам, указанным' в технических условиях энергоснабжающей организации;

• электрическая часть средств и систем измерения тепловой энергии и теплоносителя, использующих электроэнергию с напряжением выше 36 В, соответствует правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок.

На сегодняшний день в России выпускается широкая гамма оборудования, позволяющего решить практически все задачи по учету всех типов энергоносителей. За последнее время качество, надежность, технические и метрологические характеристики метрологического оборудования существенно улучшились, что позволяет ему на равных конкурировать с зарубежными аналогами. При этом отечественное оборудование выгодно отличается с точки зрения цены, что играет немаловажную роль при выборе его к применению. Несколько хуже обстоят дела с выпуском отечественного оборудования, предназначенного для регулирования потребления энергоносителей. Выбор его ограничен, а качество не всегда отвечает необходимым требованиям. Надо отметить, что оборудование, используемое для коммерческого учета энергоносителей, должно иметь сертификат Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (должно быть внесено в Госреестр средств измерений РФ). Рассмотрим, какое оборудование для учета потребления и регулирования отпуска энергоносителей предлагается на рынке на примере Свердловской области.

Приборы учета холодной и горячей воды

Для коммерческого учета холодной и горячей воды, как правило, применяются счетчики воды с механическим принципом действия. Чувствительным элементом этих приборов является роторное устройство, расположенное в потоке воды, протекающей через прибор. Крутящий момент, создаваемый потоком воды, посредством магнитных полумуфт от турбинки (крыльчатки) передается на счетный механизм, снабженный роликовым и стрелочными индикаторами. Счетчики выпускаются на диаметры условного прохода от 15 до 250 мм. Для долгосрочной и надежной работы данных счетчиков необходима установка перед ними механических и магнитомеханических фильтров. Наиболее распространены на нашем рынке следующие типы счетчиков:

- для учета расхода холодной воды – СХВ, ВСХ, ВМХ, ВСКМ, СТВ;
- для учета горячей воды – СГВ, ВСГ, ВМГ, ВСКГМ, СТВГ, ВДТГ, ОСВ.

Счетчики разных типов имеют разный технологический уровень производства, показатели надежности и стоимость. К счетчикам, имеющим более высокое качество изготовления, можно отнести устройства типа ВСХ, ВСГ, ВМХ, ВМГ.

Кроме описанных типов для учета расхода воды могут быть использованы расходомеры-счетчики воды других принципов действия: электромагнитные, вихревые, ультразвуковые, корреляционные. Принцип действия электромагнитного счетчика, например типа ИПРЭ-3, основан на том, что при прохождении электропроводной жидкости через магнитное поле в ней, как в движущемся проводнике, наводится электродвижущая сила, пропорциональная средней скорости потока (расхода жидкости). В основу работы ультразвуковых счетчиков заложен импульсный метод измерений. Счетчики являются реверсивными по направлению потока. Обработка из-

меряемой информации осуществляется микропроцессором, например, устройства типа ПКР (Екатеринбург), UFM-001 (Центрприбор, Москва). Расходомеры-счетчики этих типов для трубопроводов с диаметром от 10 до 400 мм имеют более высокую стоимость, но обладают рядом преимуществ:

•отсутствием механических движущихся частей в потоке воде;

•незначительным гидравлическим сопротивлением;

•возможностью работы на трубопроводах большего диаметра;

•отсутствием необходимости установки магнитомеханических фильтров, вносящих дополнительное гидравлическое сопротивление.

Приборы учета тепловой энергии

Наверное, не следует обсуждать актуальность проблемы эффективного использования тепловой энергии. Необходимо акцентировать внимание на той роли, которую играют в решении данной проблемы приборы коммерческого учета. Предоставляемая ими информация является основанием для финансовых расчетов между поставщиком и потребителем энергии, стимулируя как того, так и другого к проведению мероприятий по энергосбережению. Существующий спрос на подобные приборы определяет и предложение: на рынке представлен весьма широкий диапазон средств учета, различных как по функциям и возможностям, так и по цене.

Нормативно-правовой основой учета являются «Правила учета тепловой энергии и теплоносителя», утвержденные Минтопэнерго РФ 12 сентября 1995 г. [28]. В настоящее время ведется работа над новой редакцией данного документа.

Учет тепловой энергии осуществляется путем измерения ряда параметров теплоносителя и вычисления на основе измерений количества отпускаемой или потребляемой энергии. Прибор или комплект приборов, выполняющий названные функции, называется счетчиком тепловой энергии. Как правило, в его состав входят первичные измерительные преобразователи и тепловычислитель. Последний способен рассчитывать количе-

ство теплоты на основе входной информации о физических параметрах (масса, температура и давление теплоносителя), которую ему предоставляют первичные преобразователи в виде электрических величин.

Необходимость применения для учета тепловой энергии именно комплектов приборов, а также многообразие представленных на рынке вычислителей, расходомеров и т.п. могут создать определенные трудности при выборе потребителем необходимого ему оборудования. Выбор должен быть основан на следующих критериях: метрологических характеристиках, качестве изготовления, надежности работы, удобстве эксплуатации и обслуживания, сервисных возможностях, соотношении «цена/качество».

Выбор приборов для учета потребляемой тепловой энергии

Потребитель с тепловой нагрузкой до 0,1 Гкал/ч. Для такого типа потребителей наиболее подходят счетчики, состоящие из механических (крыльчатых или турбинных) расходомеров, малогабаритных вычислителей и платиновых термометров. К таким приборам можно отнести Мегатрон («Теплоизмеритель», Россия), СПТ961К («Логика», Россия), СТЗ («Тепловодомер», Россия); *Picocal* (Дания).

Потребитель с тепловой нагрузкой от 0,1 до 0,5 Гкал/ч. Для этих потребителей, по нашему опыту и в соответствии с действующими Правилами, наиболее подходят теплосчетчики, состоящие из турбинных или электромагнитных расходомеров, вычислителей и платиновых термометров. К таким теплосчетчикам можно отнести СПТ941К и СПТ961К («Логика», Санкт-Петербург), ТС-03М (Арзамасский ПЗ), ТСТ-1 («Маяк», Озерск).

Достоинствами этих теплосчетчиков являются высокая надежность, наличие часовых, суточных и месячных архивов, вывод на принтер или компьютер отчетных данных, возможность построения различных схем учета.

Потребители с тепловой нагрузкой более 0,5 Гкал/ч. Для этих по-

требителей могут быть рекомендованы помимо вышеупоминавшихся счетчиков СПТ961К и ТСТ-1 такие приборы, как Таран Т («Флоу-спектр», Обнинск), ТС-06-6 (Арзамасский ПЗ), *Multical* III *UF* («Тепловодомер», Мытищи), которые построены на базе электромагнитных и ультразвуковых расходомеров. В качестве ультразвуковых расходомеров можно рекомендовать приборы UFM001 и ДРК-С, обладающие высокими техническими характеристиками и показателями надежности. Эти расходомеры могут использоваться на трубопроводах диаметрами условного прохода от 50 до 4000 мм. Обязательным условием при установке расходомеров UFM001 является наличие прямого участка трубопровода большой длины перед расходомером.

При необходимости в составе оборудования узла учета могут быть использованы датчики давления теплоносителя. Указанные типы счетчиков имеют большие возможности:

• часовые, суточные и месячные энергонезависимые архивы;

• вывод информации на принтер и компьютер;

• съем информации через оптический порт вычислителя при помощи переносного компьютера;

• возможность передачи информации по телефонным линиям связи;

• работа в сети сбора и передачи информации и др.

Кроме того, в узлах учета тепловой энергии используются теплоконтроллеры «ТЕКОН» («Крейт», Екатеринбург), которые способны, в зависимости от исполнения, обслуживать от 4 до 15 объектов. Все типы указанных счетчиков имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при выборе.

Приборы для учета отпускаемой тепловой энергии

Согласно действующим Правилам учета, у поставщика тепла необходимо производить измерение и регистрацию расхода, температуры и давления теплоносителя. Как правило, отпуск тепловой энергии осуществ-

ляется по трубопроводам большого диаметра, поэтому здесь можно рекомендовать к применению счетчики, построенные на базе ультразвуковых расходомеров или сужающих устройств с датчиками перепада давления. При измерении расхода по методу переменного перепада к тепловычислителю (например, СПТ961К) может быть подключено до трех датчиков перепада давления для расширения диапазона измерения.

Учет природного газа

Для измерения объема природного газа без приведения к нормальным условиям используются бытовые и промышленные счетчики газа. Бытовые счетчики газа применяются для измерения расхода газа низкого давления (до 3,5 кПа). Промышленные счетчики газа используются для измерения расхода газа высокого давления (до 1,6 или 7,5 МПа).

При организации учета газа с приведением его параметров к нормальным условиям применяются узлы учета, в состав которых входят расходомер или расходомерный узел, преобразователи температуры и давления, вычислитель-корректор. Для определения расхода газа могут применяться расходомеры (турбинные, вихревые и др.) или расходомерные узлы, основанные на методе переменного перепада. Для расширения диапазона измерения в таких узлах используют параллельное подключение к одному сужающему устройству двух – трех преобразователей перепада давления.

Основные типы приборов на нашем рынке:

• счетчики газа бытовые – СГБ, СГК;

• счетчики газа промышленные – СГ-16;

• расходомеры – СГ-16М (турбинный), ДРГ (вихревой);

• преобразователи избыточного давления – Метран-ДИ-Ех, Сапфир-ДИ-Ех, Корунд-ДИ-Ех;

• преобразователи перепада давления – Метран-ДД-Ех, Сапфир-ДД-Ех, Корунд-ДД-Ех;

• преобразователи температуры платиновые – ТПТ-1-3, ТСП-15-2, ТП9201;

• тепловычислители – СПТ761, ТЕКОН-10.

Оборудование необходимо выбирать исходя из его характеристик и возможности применения в том или ином случае.

Приборы регулирования для систем отопления и горячего водоснабжения

В настоящее время для широкого круга потребителей все более актуальной становится задача контроля и регулирования параметров энергоснабжения, грамотное решение которой дает возможность оптимизировать потребление энергии, а также существенно сократить платежи за пользование источниками энергии. До недавнего времени для решения этих задач использовалось зарубежное оборудование, которое сейчас стало практически недоступно.

Регуляторы для систем отопления и ГВС подразделяются на два основных типа: регуляторы прямого действия и регуляторы электронные. Регуляторы прямого действия служат для поддержания постоянного значения одного параметра, например расхода воды, температуры воды, давления или перепада давлений воды. Электронные регуляторы предназначены для реализации более сложных задач и выполнения сразу нескольких функций, например поддержания заданного режима теплоснабжения объекта в зависимости от температуры наружного воздуха. Кроме того, эти приборы выполняют обычно следующие функции;

• предотвращение превышения температуры теплоносителя в обратном трубопроводе;

• коррекцию температурного графика по желанию пользователя;

• снижение на заданное время температурного графика (для экономии потребления энергии в нерабочее время и т.д.).

На рынке большинства регионов представлены следующие типы данного оборудования:

• регуляторы прямого действия – РТЦГВ, РТ-ДО, РТП-М, РД-НО,

РР-НО, РРТЭ-3, РТВ, УРРД, RTD;

•регуляторы электронные – ТРМ-1, 5, 10; ТРМ12; ТРМ32; ТРМ33.

Радиаторные термостаты

Радиаторный термостат – простой и надежный прибор для автоматического поддержания комфортной температуры воздуха в помещении. Термостат устанавливается в системе отопления здания перед отопительным прибором любого типа на трубе, подающей в него горячую воду. Термостат позволяет избежать перегрева помещений в переходный период года. Температура в помещении поддерживается путем изменения расхода воды через отопительный прибор. Изменение расхода воды происходит за счет перемещения штока клапана сильфоном, автоматически изменяющим свой объем даже при незначительном изменении температуры окружающего воздуха. Удлинению сильфона при изменении температуры противодействует пружина, усилие которой регулируется поворотом настроечной рукоятки. Термостаты позволяют сэкономить в среднем 20 % тепла на отопление за счет компенсации тепловыделений от солнечных лучей, людей, электробытовых устройств, обеспечивая комфортную температуру воздуха. Радиаторные термостаты освоены большим количеством фирм, наибольший интерес здесь представляет продукция отечественных производителей – ЗАО «Тепловодомер» (Мытищи) и ЗАО «Данфосс» (Москва).

Приборы учета электрической энергии

Для учета электрической энергии используются счетчики, которые подразделяются на следующие типы: индукционные и электронные; однофазные и трехфазные; однотарифные и двухтарифные; для учета активной и реактивной энергии; с одним и двумя направлениями учета; без выходного сигнала и с выходным импульсным сигналом. Для организации двухтарифного учета электроэнергии применяются устройства переключения

тарифов. Некоторые типы счетчиков, представленные на нашем рынке:

•электронные – ЦЭ6807Б, СЭТ3, СЭТ4, УПТ 12-100;

•индукционные – Е73С, Е73СД, Т37, Т31.

На рынке как Свердловской области, так и других регионов России существует довольно обширный выбор оборудования, предназначенного для учета всех видов энергоносителей. Оборудование имеет различные технические и эксплуатационные характеристики и разную стоимость. Сложнее обстоит дело с регуляторами. Здесь нет еще такого большого выбора приборов и, следовательно, вариантов построения систем. Но работа в этом направлении ведется, и можно надеяться, что в ближайшее время этот тип оборудования будет надлежащим образом представлен. Это даст потребителю дополнительные возможности в реализации мероприятий энергосберегающего характера и приведет к повышению энергоэффективности объектов.

8.4. Системы учета энергоресурсов

Современные технологии получения, сбора и обработки информации позволяют реализовать учет энергоресурсов практически в режиме реального времени [23]. Измерительные системы, обеспечивающие сбор, обработку, хранение и передачу информации о потреблении или производстве энергоресурсов, получили название АСКУЭ – автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов [29, 30]. Под измерительной системой (ИС) [31] понимается совокупность определенным образом соединенных между собой средств измерений и других технических устройств (компонентов измерительной системы), образующих измерительные каналы. ИС реализует процесс измерений и обеспечивает автоматическое (автоматизированное) получение результатов измерений (выражаемых с помощью чисел или соответствующих им кодов), изменяющихся во времени и распре-

деленных в пространстве физических величин, характеризующих определенные свойства (состояние) объекта измерений. Следует иметь в виду, что ИС обладают основными признаками средств измерений и являются их специфической разновидностью.

Измерительный канал ИС рассматривается как последовательное соединение каналов компонентов или (и) измерительных каналов комплексных компонентов, выполняющих законченную функцию от восприятия измеряемой величины до получения результата ее измерения, выражаемого числом или соответствующим ему кодом. Измерительные каналы системы могут быть простыми и сложными. В простом канале реализуется выполнение прямых измерений. Сложный канал представляет собой совокупность простых измерительных каналов, реализующих косвенные, совокупные или совместные измерения. Измерительные каналы могут входить в состав как автономных измерительных систем, так и более сложных систем: контроля, диагностики, распознавания образов, других информационно-измерительных систем, а также автоматических систем управления технологическими процессами. В таких сложных системах целесообразно объединять измерительные каналы в отдельную измерительную подсистему с четко выраженными границами как со стороны входа (мест подсоединений к объекту измерений), так и со стороны выхода (мест получения результатов измерений).

Как следует из определения, компонентами измерительной системы являются технические устройства, входящие в ее состав и реализующие одну из функций процесса измерений: измерительную, вычислительную или связующую. Таким образом, измерительным компонентом ИС являются средства измерения: измерительный прибор, измерительный преобразователь, измерительный коммутатор. К измерительным компонентам относятся также аналоговые «вычислительные» устройства, в которых происходит преобразование одних физических величин в другие. Связующими компонентами измерительной системы являются технические уст-

ройства либо часть окружающей среды, предназначенные или используемые для передачи с минимально возможными искажениями сигналов, несущих информацию об измеряемой величине от одного компонента измерительной системы к другому. Вычислительными компонентами измерительной системы является цифровое измерительное устройство (или его часть) совместно с программным обеспечением, выполняющие функцию обработки (вычисления) результатов наблюдений (или прямых измерений) для получения результатов прямых (или косвенных, совместных, совокупных) измерений, выражаемых числом или соответствующим ему кодом.

Конструктивно объединенная или территориально локализованная совокупность компонентов, представляющая собой часть измерительной системы и выполняющая несколько из общего числа измерительных преобразований, предусматриваемых процессом измерений, образует измерительный комплекс. К разряду измерительных комплексов относятся информационно-измерительные системы.

Под информационно-измерительной системой понимают совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки с целью представления потребителю в требуемом виде или автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации. Разновидностью ИИС являются информационно-вычислительные комплексы (ИВК), отличительная особенность которых – наличие в их составе свободно программируемой ЭВМ. Структура ИИС зависит от принятого в системе способа управления: централизованного или децентрализованного. В децентрализованных ИИС все сигналы измерительной информации передаются по индивидуальным для каждого из технических средств каналам.

Среди структур систем с централизованным управлением можно выделить радиальные, магистральные, радиально-цепочечные, радиально-магистральные. Обобщенная схема ИИС приведена на рис. 8.1.

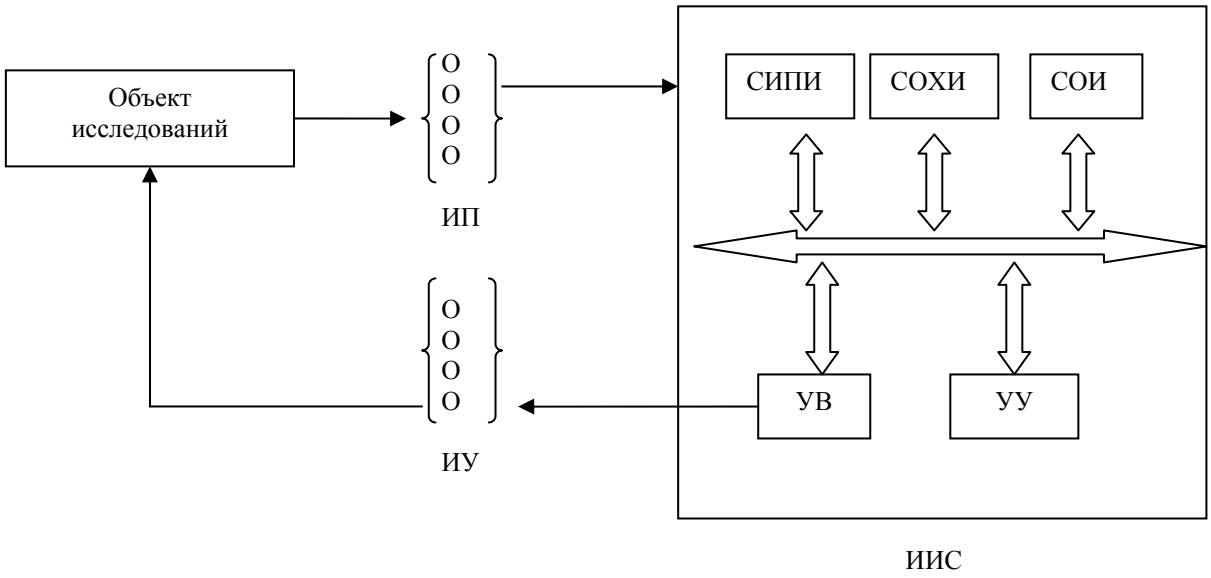


Рис. 8.1. Обобщенная схема ИИС

Информация, поступающая от объекта исследований в измерительный преобразователь (ИП), преобразуется в электрический сигнал и передается в структуру ИИС, осуществляющую измерение и преобразование информации (СИПИ). В структуре СИПИ измерительная информация подвергается следующим операциям: фильтрации, масштабированию, линеаризации, аналого-цифровому преобразованию. Затем сигналы измерительной информации в цифровой (дискретной) форме поступают в структуру обработки и хранения информации (СОХИ) или в структуру отображения информации (СОИ). Устройство управления (УУ) осуществляет функции управления; устройство вывода (УВ) осуществляет вывод управляющих сигналов на исполнительные устройства (ИУ), воздействующие на объект исследования. Средства измерений и структуры, входящие в состав ИИС, должны обладать совместимостью по ряду параметров.

Энергетическая совместимость предполагает использование какого-либо одного носителя сигналов измерительной информации (электрический, пневматический, гидравлический).

Функциональная совместимость требует, чтобы функции, выполняемые средствами измерений, образующими ИИС, были четко определены, разграничены и взаимоувязаны.

Метрологическая совместимость обеспечивает сопоставимость метрологических характеристик и их стабильность во времени.

Конструктивная совместимость отражает согласование конструктивных параметров, механическое сопряжение средств измерений.

Эксплуатационная совместимость определяется согласованностью характеристик внешних влияющих величин, а также характеристик надежности и стабильности.

Информационная совместимость обеспечивает согласованность входных и выходных сигналов по виду, диапазону измерения, порядку обмена сигналами.

Структурно АСКУЭ состоят, как правило, из трех подсистем (рис. 8.2):

• подсистемы сбора первичной информации – нижний уровень АСКУЭ;

• подсистемы первичной обработки и хранения информации – средний уровень АСКУЭ;

• подсистемы переработки, отображения, хранения и информационного обмена – верхний уровень АСКУЭ.

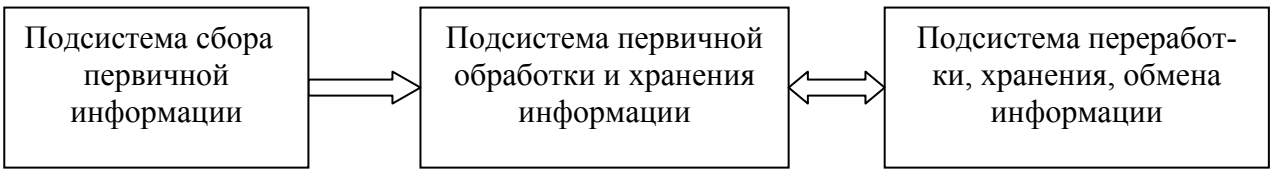


Рис. 8.2. Структурная схема АСКУЭ

Конструктивно подсистема сбора первичной информации АСКУЭ включает в себя первичные преобразователи, измеряющие параметры сред: расход, давление, температуру и др. Подсистема среднего уровня реализована в виде контроллеров. Подсистема верхнего уровня представляет со-

бой специализированный вычислительный комплекс с соответствующим программным обеспечением. Обмен информацией между подсистемами нижнего и среднего уровней осуществляется по измерительным каналам. Обмен информацией между подсистемами среднего и верхнего уровней осуществляется по каналам связи. В качестве каналов связи могут быть реализованы проводные линии связи, выделенные или коммутируемые телефонные каналы, радиоканалы связи. Для передачи по этим каналам используются, как правило, стандартные интерфейсы: *RS*-232, *RS*-485, ИРПС и др. Теплосчетчики также относятся к разряду измерительных систем. Согласно [32 – 35] теплосчетчик рассматривается как измерительная система, предназначенная для измерения количества теплоты.

В качестве примера возможностей автоматизированных систем управления энергоресурсами приведем краткое описание АСКУЭ, разработанной научно-производственной фирмой «ПРОСОФТ-Е» (инженерная компания «ПРОСОФТ-СИСТЕМС») на базе программно-технического комплекса «ЭКОМ». ПТК «ЭКОМ» внесен в Госреестр средств измерений под № 19542-00.

ПТК «ЭКОМ» обеспечивает:

- коммерческий учет электрической энергии и мощности на оптовом рынке;

- коммерческий учет отпуска (потребления) электрической, тепловой энергии и расхода энергоносителей (воды, пара, природного газа, кислорода, сжатого воздуха и др.);

- расчет оплаты за потребляемую энергию по многотарифной системе и формирование отчетных документов;

- телеметрический контроль режимов работы электрических, тепловых и газовых сетей, оборудования;

- автоматическое и дистанционное управление промышленным и энергетическим оборудованием;

- данные для расчета удельных энергозатрат на единицу продукции.

Возможности:

- Работа со всеми типами преобразователей.
- *IBM PC* – совместимая модульная архитектура.
- Интеграция разнородных систем учета.
- Полная интеграция в АСУТП предприятия.
- Высокая точность измерений.
- Простота модернизации и наращивания.
- *MS SQL* 7.0 (сервер).
- Протоколы: *Ethernet*, ТСРЛР.
- Привычная среда *Windows*.
- Гарантийный срок 4 года. Срок службы 20 лет.

Основные технические характеристики программно-технического комплекса «ЭКОМ»:

Количество коммуникационных портов……..от 2 до 14

Количество каналов ввода/вывода:

стандартная комплектация/*Bopla*……от 8 до 56

стандартная комплектация/*Schroff*…….от 8 до 168

заказная комплектация…….более 200

Предел относительной погрешности преобразования:

число импульсных сигналов ..... …….. 0,05 %

Предел приведенной погрешности измерения:

аналоговых сигналов .....……0,1 %

Относительная погрешность расчета энергоносителя……25 %

Рабочий диапазон температур ..... ……от - 40°С до + 50°С

Межпроверочный интервал ..... ……4 года

Емкость энергонезависимых архивов..... ……не менее 8 Мб

Сохранение информации при отключении питания……..10 лет

Предел абсолютной погрешности отсчета текущего

астроном. времени (за 1 сут.).....……5 с

Наработка на отказ..... (не менее) 55000 ч.

На базе ПТК «ЭКОМ» реализуются сертифицированные системы коммерческого учета электроэнергии и мощности, позволяющие выйти на оптовый рынок, а также системы, осуществляющие управление всеми видами энергоресурсов предприятия, – от компактных систем учета параметров производства и потребления тепловой и электрической энергии котельной до распределенных систем крупных производств, холдингов и ассоциаций.

Контрольные вопросы

1. Какие методы измерений показателей энергоэффективности изделий вы знаете?
2. Какие мероприятия следует учитывать при установке приборов учета?
3. Какие приборы учета расхода энергоресурсов используются в вашей квартире, доме, офисе и т.д.?
4. Что такое радиаторный термостат?
5. Чем система учета расхода энергоресурсов отличается от узла учета?

9. Энергетические обследования

9.1. Общие положения

Высокий уровень энергоемкости большинства технологий и производств, постоянный рост тарифов на энергоресурсы заставляют руководство предприятий и организаций задуматься о путях снижения энергозатрат. В промышленном производстве это, в первую очередь, осуществляют через удельные затраты на производство единицы продукции, а в административных, общественных и жилых зданиях через удельные затраты, отнесенные на общую или жилую площади зданий, объем здания, численность персонала или жильцов [20].

В настоящих условиях все большую роль в разработке и реализации программ энергосбережения играют независимые энергоаудиторские и консалтинговые структуры.

Подавляющее большинство персонала звена управления на конкретных объектах промышленности, транспорта, жилищно-коммунального хозяйства, т.е. в энергопотребляющих секторах экономики, столкнулись с тем, что не могут самостоятельно и в сжатые сроки реализовать технические мероприятия с гарантированной энергетической эффективностью. Это обусловлено огромным количеством взаимосвязанных причин: неэффективным энергетическим оборудованием, отсутствием полной и достоверной информации о действительном состоянии энерготехнологических объектов и процессов, низким уровнем квалификации эксплуатационно-технического персонала, отсутствием мотивации к внедрению энергосберегающих проектов и т.д.

Многие из этих проблем успешно решаются, накоплен достаточный опыт и знания по проблемам энергосбережения в различных отраслях на-

родного хозяйства, включая промышленность и жилищно-коммунальный сектор.

Для определения эффективности использования потребляемых энергоресурсов, выбора способов снижения нерационального энергопотребления, получения информации для объективной оценки потребления энергии как в натуральном, так и стоимостном выражении необходимо, как и предусматривается нормативно-правовыми документами федерального и регионального уровней, проведение энергетических обследований. Указанные обследования силами независимых экспертных групп позволяют объективно оценить уровень эффективности использования энергетических ресурсов на предприятии и наметить целесообразные меры по энергосбережению [75].

Довольно часто у руководства крупных предприятий и организаций возникает желание поручить проведение энергетического обследования своим энергетическим службам, т.е. провести обследование собственными силами.

Такой подход объясняется рядом причин. Это и желание сэкономить финансовые затраты на проведение обследования, и желание не разглашать сведения о своей деятельности, являющейся коммерческой тайной, и другие. Конфиденциальность сведений, получаемых в процессе энергетического аудита, без сомнения, является прерогативой заказчика.

Это обстоятельство иногда становится некоторым препятствием при анализе эффективности работы предприятия или учреждения. Между тем без обеспечения необходимой открытости информации невозможно достичь желаемых результатов. При этом сразу следует оговориться, что, в соответствии с Правилами, результаты энергоаудита не должны являться основанием для санкций против предприятия или организации со стороны надзорных органов.

Однако законодательство устанавливает необходимость независимого и компетентного энергетического обследования. Об этом говорит и наш

опыт. В связи с этим энергоаудиторы должны быть из юридически независимой организации.

Главной целью энергоаудита является комплексный анализ всех систем энергоснабжения объекта для определения потенциала энергосбережения и выявления основных направлений его реализации, а также для разработки мероприятий и технических решений, позволяющих снизить энергопотребление и, как следствие, финансовые затраты на оплату топливно-энергетических ресурсов.

Как показывает практический опыт, потенциал энергосбережения для предприятий различных отраслей отличается несущественно и составляет как минимум:

• по тепловой энергии – 15 – 25 %;

• по электрической энергии – 10 - 20 %.

Для предприятий алюминиевого производства этот потенциал оценивается величиной 3 – 5 %.

Многие руководители предприятий ошибочно считают результатом энергоаудита снижение энергозатрат. В действительности с энергоаудита, этого сложного и многоэтапного процесса, энергосбережение только начинается. Хотя, как показывает опыт, эффективность энергетических обследований очень высока. На один рубль затрат, выделенных на обследование, разработанные предложения после их внедрения могут дать эффект в 30 – 40 рублей и более.

Методическое обеспечение. Задачу можно считать успешно решенной, если известен алгоритм и метод ее решения.

Основой энергоаудита является методическое обеспечение, определяющее порядок и правила проведения обследований энергохозяйства предприятий и организаций. В настоящее время вопросам методического обеспечения энергоаудиторской деятельности уделяется огромное внимание. Среди оснований для выдачи лицензии на проведение энергетических

обследований важнейшим является наличие методических материалов, позволяющих оценивать эффективность использования энергетических ресурсов.

На сегодняшний день виды энергетических обследований, технология их проведения и основополагающие методические материалы регламентируются временными нормативными документами. Ведущие энергоаудиторские фирмы на практике реализуют, как правило, свои методики проведения обследования энергохозяйства и его отдельных систем (топливо-, тепло-, электро-, водо-, воздухо- и холодоснабжение), прошедшие экспертизу и утвержденные в соответствующих инстанциях.

Препятствием на пути эффективного проведения энергоаудита служит иногда «закрытость» персонала энергетических служб обследуемых предприятий и организаций в сборе исходных данных, а также отсутствие необходимой информации, поэтому в настоящее время особенно важная роль отводится полноте и достоверности информации, которой должен оперировать энергоаудитор.

Сбор первичной информации. В зависимости от степени глубины энергоаудита определяются перечень необходимой исходной информации об объекте и порядок проведения обследования. Сбор первичной информации является наиболее важным и в то же время самым трудоемким (с точки зрения временных затрат) этапом проведения энергоаудита. Информация фиксируется в специально разработанных типовых формах. В сборе информации участвуют энерготехнологические службы обследуемого предприятия и обследующая организация. Основными источниками информации являются:

- отчетная документация по коммерческому и техническому учету энергоресурсов;
- схемы энергоснабжения и учета энергоресурсов;
- оплаченные счета за использованные энергоресурсы;
- данные по объему произведенной продукции, ценам и тарифам;

- договора с энергоснабжающими организациями;
- технологические регламенты, режимные карты, аппаратурно-технологические схемы процессов;
- результаты визуального обследования производственных цехов и энергопотребляющего оборудования;
- перспективные программы энергосбережения и модернизации производства, утвержденные планом развития предприятия;
- беседы с руководящим и техническим персоналом службы главного энергетика и производственных подразделений.

Предприятие должно предоставить необходимую документальную информацию не менее чем за полный календарный год, предшествующий обследованию (базовый год). При этом оно несет ответственность за достоверность представленной информации.

Состав первичной информации:

• общие сведения о предприятии;

• фактические отчетные данные по энергоиспользованию и выпуску продукции в текущем и базовом году (по месяцам);

• показатели энергопотребления в существующих формах статистической и внутризаводской отчетности;

• перечень основного энергопотребляющего оборудования;

• технические и энергетические характеристики оборудования;

• технико-экономические характеристики энергоносителей, используемых на предприятии;

• сведения о источниках топливо-, тепло-, электро- и водоснабжения, сжатого воздуха;

• фонд рабочего времени, сменность;

• схемы систем тепло-, электро-, водо-, топливо-, холодо- и воздухоснабжения предприятия и отдельных подразделений;

• наличие вторичных энергоресурсов и их использование.

Анализ исходной информации. В процессе анализа собранной информации об объекте необходимо оценить следующие показатели:

• общую стоимость затрат предприятия на энергоресурсы, расходы на воду и стоки;

• структуру затрат по энергоносителям;

• количественные характеристики производства продукции за последний год по месяцам;

• себестоимость продукции;

• энергоемкость продукции;

• удельные расходы энергоресурсов на основные виды продукции по месяцам.

В процессе анализа необходимо выяснить, доля каких энергоресурсов в общем потреблении наиболее значительна, на использование каких энергоресурсов нужно обратить внимание прежде всего. Информация об энергопотреблении должна показывать долевое потребление различных энергоресурсов на предприятии и затраты на них.

При рассмотрении структур тарифов на энергоресурсы нужно учесть все факторы, которые в конечном итоге определяют, сколько предприятие платит за энергоресурсы: изменение тарифа в течение года, структуру тарифа, дифференцированные тарифные ставки, штрафные санкции и другие выплаты.

При обработке и анализе исходной информации наиболее сложным этапом является распределение потребления каждого энергоресурса по основным потребителям (разработка фактических и нормативно-расчетных энергетических балансов).

При составлении балансов решаются следующие основные задачи:

• оценка фактического состояния энергоиспользования;

• выявление причин и значений потерь энергоресурсов;

• определение рациональных размеров потребления энергоресурсов в производственных процессах и установках;

• улучшение работы технологического и энергетического оборудования;

• совершенствование методики нормирования и корректировка норм расхода энергоресурсов на производство продукции;

• определение требований к организации и совершенствованию системы учета и контроля потребления различных видов энергоресурсов.

Для существенного сокращения времени обработки и анализа исходной информации предлагается использовать информационно-компьютерные системы, содержащие структурированные определенным образом базы данных и специальные программные модули, реализующие алгоритмы расчета составляющих энергобалансов по действующим методикам.

В процессе сбора и анализа исходной информации возможно проведение инструментальных обследований. Инструментальные обследования применяются для восполнения отсутствующей информации, которая необходима для оценки эффективности энергоиспользования, но не может быть получена из документов или вызывает сомнение в достоверности.

Для проведения инструментального обследования должны применяться стационарные и специализированные портативные приборы. При проведении измерений следует максимально использовать уже существующие узлы учета энергоресурсов на предприятии, как коммерческие, так и технические.

Следует заметить, что, как правило, любой технологический цикл на предприятии обеспечен необходимым количеством штатных приборов. Эти приборы постоянно поверяют, на их показаниях формируется отчетность и планируется производственная деятельность. Накопленной (на обследуемом объекте) исходной информации достаточно для ее ретроспективного анализа и обнаружения потерь энергии и энергоносителей (существенных в финансовом смысле), для определения причин нерационального энергопотребления и разработки энергосберегающих мероприятий и

предложений. В связи с этим, прежде чем проводить измерения, нужно четко определить, что именно измерять, где, когда, в каких условиях, как долго и, самое главное, с какой целью данные измерения проводятся и какой ожидается результат. Иначе говоря, до проведения измерений необходимо проанализировать имеющуюся информацию, оценить показатели энергопотребления, определить причины и условия возникновения потерь. Результаты специальных измерений позволяют проверить определенные предположения, заключения, сформулированные в процессе анализа ретроспективных данных. Они позволяют получить информацию, достоверно характеризующую все множество изменяющихся внешних факторов, определяющих структуру энергетических потоков на обследуемом объекте.

Кратковременные инструментальные обследования – как разновидность энергетических обследований – допустимы в основном при оценке энергоэффективности отдельных установок и агрегатов, работающих в определенном режиме. При проведении ретроспективного анализа энергохозяйственной деятельности предприятия в целях оценки величин потерь энергоресурсов и потенциала энергосбережения, для составления энергобалансов и разработки энергосберегающих мероприятий следует избегать инструментальных обследований вследствие их функциональной неэффективности и финансовой убыточности. Применение дополнительных портативных измерительных средств в этом случае возможно лишь для оценки климатических и эргономических параметров внутри помещений (температура, влажность, освещенность), а также температурных параметров поверхностей нагрева и изоляционных материалов.

9.2. Основные причины нерационального расхода ТЭР

Десятилетия неэффективного использования энергоресурсов создали в России огромный потенциал энергосбережения, достигающий порядка 30 – 35 % современного потребления ТЭР. За счет чего это произошло?

В условиях спада производства наблюдался рост доли холостой загрузки оборудования; необходимость поддержания плюсовой температуры воздуха в слабо загруженных или незагруженных производственных помещениях в отопительный период обеспечила нерациональный расход колоссального количество тепла. Это лишь частные примеры факторов, которые в конечном счете увеличили энергоемкость внутреннего валового продукта за последние годы на 22 % [20].

Высокий уровень энергоемкости национальной экономики, в 2 – 3 раза превышающий уровень США и западноевропейских стран [69], создает серьезные препятствия в конкуренции отечественной продукции на мировом рынке. Сохранение нынешнего уровня энергоемкости промышленного производства как одной из производных конкурентоспособности продукции поощряет неограниченный импорт потребительских товаров и экспорт отечественного сырья. Необходимо в то же время считаться с таким немаловажным фактором, как слабое обновление парка электро- и теплопотребляющего оборудования, износ которого превышает 50 – 60 %, что вызвано объективными финансовыми трудностями.

Топливный баланс на ближайшие годы складывается таким образом, что без использования потенциала энергосбережения невозможно обеспечить поступательное развитие народного хозяйства страны.

Иными словами, рост потребности в ТЭР на 50 – 53 % можно обеспечить за счет энергосбережения. Остальной дефицит покрывается только углем, для чего потребуются значительные капиталовложения в развитие угледобывающих мощностей.

В целях реализации приоритетов в области энергосбережения за годы реформ Правительством РФ был принят ряд правовых и нормативных актов (см. также гл. 6):

• Указом Президента РФ № 472 от 07.05.1995 г. были утверждены «Основные направления энергетической политики Российской Федерации на период до 2000 г.»;

• Постановлением Правительства РФ № 87 от 02.11.1995 г. «О неотложных мерах по энергосбережению» установлено задание по оснащению потребителей ТЭР приборами и системами учета;

• Федеральным законом «Об энергосбережении» № 28-ФЗ от 03.04.1996 г. заложены основополагающие принципы энергосберегающей политики и основы управления энергосбережением, включая и организацию государственного надзора за эффективностью энергопотребления.

В течение нескольких лет в России проводятся обязательные энергетические обследования предприятий с годовым потреблением ТЭР свыше 6000 т у.т.

В процессе обследований специалистам, как правило, приходится сталкиваться со следующими наиболее часто встречающимися причинами нерационального расхода ТЭР:

По режиму работы оборудования

1. Несоответствие мощности установленного энергетического оборудования (паровых котлов, трансформаторов, воздухоснабжающих и водоохладительных установок, электроприводных устройств) изменившимся условиям, когда предприятие по причине спада производства работает с низкой загрузкой оборудования.

1.1. На ряде обследованных предприятий в летний период имеет место сброс части пара в атмосферу из-за несоответствия минимальных паровых нагрузок котлоагрегатов, установленных заводами-изготовителями, фактическим паровым нагрузкам.

1.2. Завышенные мощности установленных трансформаторов на понижающих подстанциях.

1.3. Сохранение в работе излишнего числа трансформаторов в нерабочее время, загруженных на 10 – 15 % номинальной мощности. Недостаточное резервирование питания цеховых потребителей.

2. Отсутствие режимных карт и регламентов на энергопотребляющем

оборудовании или их эксплуатация с просроченными сроками.

3. Эксплуатация пароиспользующего оборудования в нерабочие часы суток.

4. Использование в дневное время электроосвещения из-за загрязненности световых проемов.

5. Неполная загрузка электропечей. Эксплуатация печей сопротивления при открытых загрузочных отверстиях, открытых шторках и т.д., неэффективная тепловая изоляция, отсутствие автоматического регулирования температуры.

6. Нарушение режима работы устройств по компенсации реактивной мощности или их использование с заниженными параметрами.

7. Отсутствие надлежащего контроля режима работы охладительных устройств (насосов циркуляции, осевых вентиляторов на градирнях), за расходом и температурами воды после оборудования, чистотой циркулирующей в охладительных системах воды.

По использованию топлива

1. Значительные присосы и избытки воздуха за котлами, сжигающими природный газ и мазут.

2. Неполное использование теплоутилизаторов в котельных, использующих в качестве топлива природный газ.

3. Завышенные расходы тепла на собственные нужды, особенно на слив и подогрев мазута в баках. Отсутствие надежных схем разогрева мазута в резервных емкостях при «холодном» хранении, что вынуждает предприятия из-за ограничений в подаче газа сохранять в разогретом виде весь хранящийся запас.

4. Потери тепла с продувочной водой и с выпаром из деаэраторов из-за несвоевременного ремонта утилизационных теплообменников.

5. Повышенные теплопотери в обмуровке котлов и теплопроводах из-за недостаточной эффективности используемой теплоизоляции.

6. Отсутствие достоверного учета отпускаемого котельными тепла и фактических значений удельного расхода топлива на отпущенную теплоэнергию.

7. Отсутствие оптимального использования тепла пролетного пара и пара вторичного вскипания в конденсатных баках.

При использовании тепловой энергии

1. Отсутствие или неудовлетворительная работа конденсатоотводчиков паропотребляюшего оборудования, что вызывает значительные пролеты пара и его потери.

2. Отсутствие сбора пароконденсатной смеси из-за неудовлетворительной работы системы сбора и возврата конденсата или выхода из строя конденсатопроводов.

3. Неотключение оборудования в конце рабочей смены.

4. Неудовлетворительное состояние теплоизоляции на пароиспользующем оборудовании, теплопроводах, холодильных камерах, запорной арматуре.

5. Отсутствие систем автоматического регулирования температурных параметров.

6. Значительные потери тепла при транспорте, наличие утечек пара и горячей воды из-за нарушения герметичности в сетях и арматуре. Наличие транспорта насыщенного пара на значительные расстояния из-за отсутствия пароперегревателей на котлах, потери тепла и теплоносителя на протяженных паропроводах.

7. Подтопление теплотрасс из-за неудовлетворительной работы попутных дренажных систем.

8. Многочисленные замечания по приборам, учитывающим отпуск и потребление тепла, а также полное отсутствие паспортов на измерительные узлы.

9. Значительные потери тепла в зданиях и сооружениях из-за больших

стекольных проемов, большой теплопроводности ограждающих конструкций, отсутствия тамбуров на выездных воротах, бездействия тепловых завес, а также эксплуатации части промышленных зданий, выполненных в «южном исполнении».

10. Низкая эффективность использования тепла вторичных энергоресурсов после утилизаторов газотурбинных двигателей на газоперекачивающих станциях Газпрома (10 – 15 %). Вторичное тепло используется лишь для нужд отопления и горячего водоснабжения собственно производственной площадки газокомпрессорной станции.

11. Использование пара, а не перегретой (сетевой) воды для покрытия отопительно-вентиляционных нагрузок.

При использовании электроэнергии

1. Неполная загрузка оборудования. Завышенная мощность электродвигателей.

2. Применение в холодильных установках винтовых компрессоров, удельный расход которых на выработку холода в три раза выше, чем у поршневых компрессоров. Неудовлетворительное состояние изоляции холодильных камер.

3. Значительные резервы экономии электроэнергии при производстве и использовании сжатого воздуха: редуцирование части сжатого воздуха арматурой из-за снабжения потребителей воздуха с различными параметрами из одной распределительной сети, значительные утечки воздуха из-за нарушения герметичности сетей, соединительной и запорной арматуры, отсутствие учета выработки и потребления сжатого воздуха. Использование компрессоров устаревшей конструкции, отсутствие систем осушки сжатого воздуха.

4. Необходимость замены пневмоинструмента электрическим.

5. Нерациональное использование электроосвещения в светлое время суток из-за загрязнения световых проемов, отсутствие группового управ-

ления светильниками, применение светильников устаревших конструкций.

6. Завышенные удельные расходы электроэнергии по выработке и отпуску тепла, так как установленное ранее электрооборудование (питательные и сетевые насосы, дымососы и вентиляторы) рассчитано на номинальные нагрузки, которые имели место при стабильной работе производства, когда не возникала потребность в системах автоматического регулирования привода. На настоящий момент решение вопросов оперативной адаптации к колебаниям производственной загрузки предприятий весьма актуально.

7. Повышенные расходы электроэнергии на вентиляционные установки из-за несвоевременного их отключения в момент останова производственных агрегатов, несвоевременного перекрытия шиберов на отсосах загрязненного воздуха при отключении отдельных агрегатов, неудовлетворительного технического состояния самих вентиляторов и вытяжной сети, находящейся под вакуумом, нарушения работы систем автоматического отключения вентиляторов тепловых завес, установленных на воротах производственных корпусов.

8. Повышенные потери в электрических сетях из-за неудовлетворительного состояния компенсирующих устройств, несоблюдение оптимального режима их работы.

9. Слабое внедрение частотного управления электроприводом крупных насосов.

Недостатки в учете производства и потребления ТЭР

Отсутствие учета отпуска тепла котельной и его расхода крупными потребителями, выработки сжатого воздуха, расхода воды в системе водооборота, производства холода, расхода электроэнергии отдельными цехами и энергоемкими агрегатами. Отсутствие паспортов на узлы учета.

Недостатки в нормировании потребления ТЭР

Ранее действовавшая система нормирования расходов ТЭР на произ-

водство отдельных видов продукции, к сожалению, на многих предприятиях утрачена.

Более того, не везде сохранилось нормирование расходов электроэнергии и тепла на 1 млн. руб. внутреннего валового выпуска продукции. Это не позволит сопоставлять показатели удельного энергопотребления по родственным предприятиям и средним показателям по отрасли в целом.

Практически повсеместно не используется метод энергетического анализа [5, 23] для определения полной энергоемкости изготовления продукции, несмотря на то, что данный метод учета полных энергозатрат в технологических системах рекомендован к использованию и в национальном стандарте [18].

Целями нормирования являются:

1. Определение для конкретных условий производства технически необходимого расхода ТЭР на производство единицы продукции.

2. Обеспечение рационального и экономного расходования ТЭР, исключающего элементы непроизводительных расходов.

3. Установление потребности в ТЭР на планируемый период.

К сожалению, в настоящее время нормирование, в основном, производится на млн. руб. ВВП, что в условиях постоянной инфляции и роста цен на продукцию не позволяет объективно оценить снижение расходов ТЭР.

Необходим переход на новые формы нормирования с использованием метода интегрального энергетического анализа [16, 23]. С использованием элементов данной методики с 1996 г организовано определение полной энергоемкости производства стали на Магнитогорском металлургическом комбинате [36].

Организация работы по энергосбережению

На ряде обследованных предприятий разрабатываются программы энергосбережения на текущий год и перспективный период или планы ор-

ганизационно-технических мероприятий по экономии ТЭР.

Однако анализ показывает, что на многих предприятиях программы и планы энергосбережения разрабатываются на уровне служб главного энергетика и ограничиваются мероприятиями, связанными с эксплуатацией собственно энергохозяйства, без участия технологических служб, службы главного механика, руководства технологических цехов и участков. По этой причине эффективность годовых программ (планов) остается весьма низкой: порядка 0,5 – 1,5 % от потребления ТЭР при контрольном задании, установленном Федеральной целевой программой «Энергосбережение России», в размере 4,5 %.

Программа энергосбережения (план ОТМ) должна охватывать наиболее энергоемкие участки производства, внедрение более совершенных технологических процессов и оборудования, требующих меньших энергозатрат, модернизацию и реконструкцию действующего оборудования, снижение потерь энергии и энергоносителей во всех элементах энерго- и топливоснабжения предприятия, автоматизацию технологических процессов, использование вторичных энергоресурсов и т.д. По каждому мероприятию, включаемому в план, необходимо проводить расчет его эффективности.

При этом следует различать следующие понятия:

• условно-годовая экономия ТЭР, экономический эффект, т у.т./(тыс. кВт·ч), Гкал, который может быть достигнут за 12 месяцев после внедрения мероприятия в полном объеме;

• фактическая экономия ТЭР, полученная в отчетном квартале или за иной отчетный период с момента внедрения мероприятия;

• экономия ТЭР, полученная в данном квартале от мероприятий, выполненных в предыдущих кварталах.

Если мероприятие выполнено неполностью, то в отчетах необходимо указывать условно-годовую или фактическую экономию, соответствующую объему выполненных работ.

Для мероприятий, носящих чисто режимный характер, таких как поддержание оптимального режима работы оборудования, организация систематического контроля технического состояния оборудования, условно-годовая экономия будет соответствовать фактически достигнутой за отчетный период.

Указанная выше методология позволяет реально оценить проводимую на предприятии работу по энергосбережению.

9.3. Организационные вопросы энергетических обследований предприятий

Федеральный закон «Об энергосбережении» предусматривает проведение обязательных энергетических обследований. Связывая практику энергосбережения с принудительным анализом состояния и работоспособностью энергетических установок, законодательство устанавливает необходимость внешнего, независимого, компетентного и конфиденциального обследования предприятия. Такое сочетание свойств этой непростой операции может быть достигнуто при следующих условиях [20]:

• обследование проводится по правилам, построенным на основе объявленной государственной энергосберегающей политики;

• бригада экспертов комплектуется из лиц, профессионально обученных, имеющих достаточный стаж практической, научной, инженерной деятельности;

• результаты энергетического обследования не могут являться основанием для применения санкций, за исключением случаев, определенных действующим законодательством;

• оплата труда экспертов, проводящих обследование, должна осуществляться в юридически независимой организации по заранее согласованным ставкам;

• сведения, полученные экспертами в ходе обследования, не должны передаваться третьей стороне иначе, как с согласия обследуемого предприятия

• персонал обследуемого предприятия оказывает максимальное содействие в работе бригады экспертов;

• программа обследования согласовывается сторонами и утверждается региональным управлением Госэнергонадзора;

• обучение экспертов должно осуществляться по программам, утвержденным территориальным управлением Госэнергонадзора.

Зарубежная практика выработала многочисленные организационные формы деятельности, направленной на подробный анализ возможностей и мер экономии и сохранения энергии и энергоресурсов. Чаще всего эта деятельность обозначается термином «энергоаудит». Не говоря уже о том, что в русском переводе это термин теряет содержательный смысл (от латинского audio -слышу), его не следует применять, поскольку банковско-бухгалтерская сфера использует этот термин для обозначения проверки, ревизии, анализа документов. В Германии, Дании, Финляндии и других странах существует определенное количество консалтинговых фирм, осуществляющих такую деятельность.

Энергетическое обследование представляет собой значительно более широкий круг работ, включающий и приборные измерения, и балансовые испытания установок. Возможно применение близких по содержанию терминов, используемых далее:

• энергетический обзор;

• энергетическая экспертиза;

• анализ энергетической эффективности;

• анализ использования и качества энергии;

• оценка возможностей экономии энергии и энергоресурсов.

Энергетическое обследование, таким образом, следует определить, как деятельность, направленную на *системный поиск возможностей эко-*

номии энергии и финансовых затрат в процессе добычи, производства, передачи и потребления энергии. Разумеется, содержание энергетического обследования определяется его программой, деятельностью, глубиной.

Для классификации задач энергетического обследования и технологии ее проведения целесообразно использовать следующую схему.

Основанием для проведения энергетического обследования предприятий, организаций любой формы собственности, связанных с добычей, транспортировкой, использованием топливно-энергетических ресурсов в материальном производстве, сфере услуг или коммунально-бытовом комплексе, являются Закон Российской Федерации № 28-ФЗ «Об энергосбережении», региональные законы об энергосбережении и договоры на проведение обследования.

Общая цель обследования отчетливо сформулирована в Законе РФ: *энергетическое обследование проводится для оценки эффективности использования энергетических ресурсов и снижения затрат потребителей на топливо- и энергообеспечение.*

В региональных законах общая цель уточняется в соответствии с местными условиями. Так, в региональных законах вместе с крупными потребителями энергоресурсов обследованию подлежат предприятия, получающие в различных формах финансовые средства для оплаты потребляемых энергоресурсов. И органы местного самоуправления могут принимать решения в отношении объектов, финансируемых из местных бюджетов.

Частные цели конкретного энергетического обследования формируются в договорах на обследование. Так, в техническом задании на проведение энергообследования крупного высшего учебного заведения федерального подчинения его цель устанавливается следующим образом:

• оценка эффективности использования энергетических ресурсов;

• выработка мер по повышению эффективности и снижению затрат на топливо и электроэнергию;

• выявление нерациональных расходов и прямых потерь энергоресурсов;

• проверка состояния измерений и учета потребляемых энергоресурсов.

Техническое задание на проведение энергетического обследования является важной частью договора и устанавливает наименование работы и основание для ее выполнения, отчетность и порядок приемки результатов.

Ресурсы для энергетического обследования. Процедура энергетического обследования исполняется наиболее продуктивно, если осуществлено ресурсное обеспечение:

• люди, эксперты, персонал;

• приборы, устройства для измерений и контроля;

• методики, правила, регламент обследования;

• финансовое обеспечение.

Бригада экспертов, привлекаемая к проведению энергетического обследования, формируется специализированной организацией, аккредитованной в установленном порядке. Персональный состав бригады существенного значения не имеет. Важнее, чтобы в бригаде собирались люди, действительно профессионально подготовленные и способные работать в единой команде. Профессионализм определяется не только базовым высшим образованием или ученой степенью, но достаточным стажем работы и обязательным дополнительным обучением и аттестацией по программе обследования.

Эксперты, их работоспособность, квалификация и независимость, структуры бригады решительно определяют качество итогового документа, качество обследования. Взаимоотношения с собственным персоналом предприятий должны строиться на доверии и сотрудничестве, но при этом очень важно сохранить независимость команды. Состав бригады должен быть так подобран, чтобы определить все возможные способы экономии энергии и затрат. Персонал предприятия проходит каждый день мимо потерь и утечек, не замечая их, в то же время внешний эксперт обнаруживает их с первого взгляда. Обследование проводится внешними, независимыми

экспертами, но персонал предприятия ответствен за достижение экономии энергоресурсов.

Приборный парк, используемый при обследовании, обеспечивает при квалифицированном обслуживании получение необходимой достоверной и полной информации о потреблении энергетических ресурсов и их качестве. Существенным моментом является необходимость сертификации импортных приборов, своевременной поверки и калибровки. Создание эффективных поверочных средств тоже представляет важную задачу.

Методика и технология обследования должны быть регламентированы нормативными документами. Правила энергетических обследований специфичны для предприятий и организаций разных отраслей и хозяйственных комплексов, разных организационно-правовых форм. Особенности правил обследования могут быть столь существенны, что создание единых правил окажется невозможным. Это обстоятельство требует специальных и глубоких исследований.

Финансовое обеспечение, возможно, является главным элементом поиска энергорасточительности. Очевидно, что расходы, необходимые для обследования, должны быть покрыты экономией энергоресурсов или финансовых средств, затрачиваемых на приобретение энергоресурсов. Многочисленные обследования предприятий разных форм собственности позволяют утверждать, что экономическая эффективность только обследования составляет 3 – 6 % от потребляемых ресурсов. Структура затрат на обследование может быть представлена диаграммой (рис. 9.1).

План энергетического обследования может быть составлен только применительно к конкретному предприятию. При этом, независимо от продолжительности, обследование выполняется в четыре стадии:

стадия 1 – предварительная;

стадия 2 – обследование по документам и статистической отчетности;

стадия 3 – приборные измерения и испытания;

стадия 4 – заключительная.

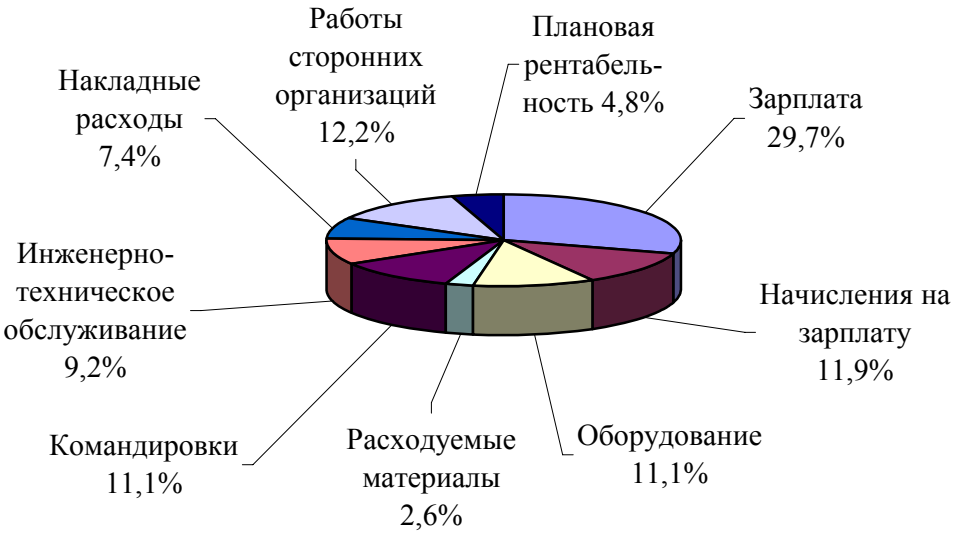


Рис. 9.1. Структура затрат на энергетическое обследование

Количество этапов, содержание и продолжительность каждого и состав привлекаемых к обследованию экспертов определяются договором, но в любом случае все четыре стадии совершенно необходимы.

Составление, заполнение и сверка опросных листов, осуществляемые на первой стадии, являются необходимой и обязательной частью обследования. Качество опросных листов во многом определяет качество итогового документа. В зависимости от назначения и глубины энергетического обследования содержание опросного листа может быть различным. Один из возможных вариантов опросного листа представлен в приложении. Регулирование содержания опросного листа осуществляется в момент составления и подписания плана и программы обследования.

Анализ общезаводских систем при обследовании предприятия является наиболее важной частью этой работы, поскольку именно здесь формируются идеи, предложения и проекты, на основе которых может быть подготовлен блок малозатратных и организационных мероприятий по экономии энергоресурсов и затрат на их приобретение.

Система измерений и учета – это первое, с чего начинается энергосбережение. Более того, если поступающие энергоресурсы не учитывают-

ся, то никакие меры экономии не могут быть реализованы. При анализе системы изучается целый спектр вопросов – от метрологических до чисто организационных.

Система автоматизации и регулирования технически близка предыдущей.

Система договорных отношений. То, как на предприятии заключаются, поддерживаются и изменяются договоры с энергоснабжающими организациями и субабонентами, показывает уровень правовой и документальной культуры предприятия. И уж конечно, технология исполнения требования договоров дает основание судить о серьезности энергосберегающих намерений администрации предприятия.

Система подготовки персонала. Качество персонала, в первую очередь энергетического, во многом определяет эффективность энергосберегающих мероприятий, и поэтому анализ персонала, его квалификация, основное образование, переподготовка и повышение квалификации позволяют выработать необходимые меры.

Система стимулирования энергосбережения и поддержки энергосберегающих мероприятий. В подавляющем большинстве случаев именно эта общезаводская система в наименьшей степени разработана в настоящее время. Совершенствование этих общезаводских систем может быть осуществлено непосредственно сразу после проведения обследования.

Обследуемые объекты и энергоресурсы. Перечень типовых объектов и содержание работ приведены в табл. 9.1.

Перечень обследуемых ресурсов и направления их использования на предприятиях достаточно широк:

Электроэнергия – освещение, силовое потребление, технологическое потребление, потери в электрических сетях.

Тепловая энергия – отопление и вентиляция (пар, горячая вода), технологическое тепло, состояние теплозащиты зданий, холодильные уста-

Таблица 9.1

Типовые объекты и работы, выполняемые при энергоаудите

Поз.	Объект	Содержание работы
1	Распределительные пункты и трансформаторы	Снятие суточных и недельных графиков нагрузки и реактивной мощности, температуры контактов и проводников. Выравнивание фаз, оптимизация графиков и нагрузок трансформаторов, снижение пиковой мощности, компенсация реактивной мощности.
2	Электропривод	Измерение графиков нагрузок, пусковых параметров, проверка состояния и соответствия мощности двигателей. Проверка компенсации реактивной мощности и качества сети.
3	Котлы, печи	Измерение режимных параметров, состава и температуры дымовых газов, присосов, составление теплового баланса, проверка качества питательной и продувочной воды, характеристик насосов, вентиляторов и дымососов, состояния и качества изоляции. Составление режимной карты.
4	Бойлеры, теплообменники	Проверка теплопередачи, гидросопротивления, состояния и качества изоляции, герметичности контуров.
5	Паровые системы	Проверка параметров пара, состояния конденсатоотводчиков, изоляции, утечек, наличие воздуха и неконденсируемых газов, пролетного пара, возврат конденсата.
6	Сжатый воздух	Тестирование электропривода, загрузки и режима работы компрессоров, системы регулирования давления, очистки и осушки, гидравлических параметров воздухопроводов, утечек, давления у потребителя, системы охлаждения компрессоров, состояния градирен, объема подпитки.
7	Отопление, вентиляция и кондиционирование	Измерение расхода, прямой и обратной температур теплоносителя, характеристик электропривода насосов и вентиляторов, температур и влажности воздуха в помещениях и снаружи, инфильтрации, кратности воздухообмена, рециркуляции. Снятие графиков нагрузок, составление теплового и водяного балансов. Тестирование систем регулирования и учета.
8	Освещение	Снятие суточных и недельных графиков нагрузки. Проверка соответствия уровня освещенности категории помещения и рабочего места, состояния окон и осветительных приборов, использования естественного и местного освещения.
9	Водоснабжение	Снятие графиков водопотребления. Тестирование утечек и непроизводительных потерь, соответствия качества воды технологическим требованиям. Проверка насосов, градирен, фильтров и другой арматуры.
10	Холодильные установки	Измерение графиков нагрузок, характеристик холодильного цикла, вторичного контура, электропривода компрессоров, вентиляторов и насосов, системы регулирования, охлаждения.
11	Здания	Проверка качества с определением количественных теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, остекления, уплотнения дверных и оконных проемов. Комплексное исследование систем отопления, вентиляции и кондиционирования, освещения и водоснабжения.

новки, потери в тепловых сетях, собственная котельная, водоразбор горячей воды.

Газ – природный; сжиженный.

Уголь – установки слоевого сжигания, пылеприготовление; очистка дымовых газов.

Нефтепродукты – котельно-печное топливо, моторное топливо.

Вода – питьевая; техническая; оборотное водоснабжение, водоотведение, очистные сооружения.

Вторичные энергоресурсы – электроэнергия; тепловая энергия, сжатый воздух, газы; прочие вторичные ресурсы; утилизация отходов.

Заключительный отчет содержит ряд блоков аналитического, прогнозного и проектного характера.

Расчет удельных расходов энергоресурсов на производство продукции осуществляется хорошо известными способами. Удельный расход широко используется как главный показатель энергоемкости продукции. Существенным является здесь то, что продукция учитывается в натуральном измерении. Известные проблемы, возникающие при выпуске многономенклатурной продукции и при производстве услуг, следует пытаться разрешить применительно к каждому предприятию.

Анализ энергетической составляющей себестоимости продукции. Сегодня достаточно широко распространено мнение о том, что именно высокие энергетические затраты сделали дорогой и неконкурентоспособной продукцию предприятий. Энергетическое обследование, в частности анализ энергетической составляющей продукции, чаще всего показывает полную несостоятельность такого мнения. Но анализ при этом должен быть предельно глубоким и достоверным.

Анализ энергетической эффективности продукции и услуг должен проводиться в форме сертификации, но сертификации по энергоэффективности, а не по безопасности, как это делается до сих пор. А пока этого не произойдет, анализ следует проводить в форме аттестации или аккредита-

ции. При этом следует иметь к виду, что повышение энергетической эффективности продукции, будь то электроприбор, подшипник или кастрюля, как правило, совпадает с улучшением и иных потребительских свойств.

Энергетический паспорт предприятия постепенно становится необходимым техническим документом, определяющим техническое состояние и условия эксплуатации оборудования [37].

Прогноз электропотребления предприятия строится на перспективу порядка пяти лет при разных сценариях развития производства, энергосберегающих мероприятиях.

План мероприятий по экономии энергетических ресурсов. Рекомендуемые энергосберегающие мероприятия разрабатываются на основе выявленных проблем для снижения неэффективного потребления энергоресурсов. Пояснение технической сущности предлагаемых мероприятий, оценка потенциала энергосбережения, оценка экономических эффектов – необходимые элементы этого плана. Все мероприятия целесообразно разделить на три блока:

- организационный,
- технологический,
- инвестиционный.

Организационные мероприятия – это, как правило, малозатратные мероприятия, осуществляемые в порядке текущей деятельности предприятия.

Технологические мероприятия могут выполняться за счет собственных средств предприятия и предусматривают технологические усовершенствования на предприятии.

Инвестиционные мероприятия предусматривают коренную перестройку производства, смену технологии и требуют дополнительных инвестиций, как правило, с привлечением заемных средств.

Бизнес-планирование энергосберегающих мероприятий выполняется в тех случаях, когда инвестиционные мероприятия сулят серьезные пре-

имущества для предприятия. Но бизнес-план – это серьезная и кропотливая работа, требующая дополнительного времени и многих дополнительных сведений, и поэтому выполняется за пределами энергетического обследования. Содержание бизнес-плана в каждом конкретном случае будет в значительной мере отличаться, но глубина его проработки должна быть достаточной, чтобы судить об основных технологических и экономических показателях.

9.4. Управление спросом на энергию

Коммерческие интересы электрокомпаний и их потребителей, как правило, не совпадают. Это можно показать на примере электроснабжения, когда поставщику необходимо учитывать не только потребности потребителей энергии, но и формирующиеся пиковые нагрузки, которые требуют кратковременного включения в работу дополнительных мощностей. Иными словами, поставщикам (энергосистемам) приходится постоянно прогнозировать величину данного параметра [11].

Пиковая нагрузка важна в краткосрочном (недельном или месячном) прогнозе, который должен указывать, сколько станций должны быть готовы произвести энергию в следующие часы. Электрические системы в настоящее время работают в условиях строгих экономических и технических ограничений, поэтому управление ими должно быть нацелено на воспроизведение всех вовлеченных переменных. Это возможно при применении больших компьютеров даже для краткосрочного (ежедневного или еженедельного) планирования производства энергии.

Важную роль играет краткосрочный прогноз нагрузки, который диспетчер использует для планирования (распределения нагрузки, гидротермической координации и т.д.) и для проверки стабильности и безопасности

системы; его необходимо учитывать и при решении вопросов обмена электроэнергией с другими системами. Любая ошибка в прогнозе нагрузки влечет большие затраты либо на ввод в работу нескольких пиковых генераторов, либо на поддержание избыточного горячего резерва.

Краткосрочный прогноз основан на суперпозиции основных и дополнительных данных. Основные данные связаны главным образом с календарем, т. е. нагрузка – средневзвешенная величина нагрузок, измеренных в один и тот же час в течение 1-3 предыдущих дней (рабочие дни считаются отдельно от субботы и воскресенья); в некоторых случаях используется база данных, охватывающая большое количество недель того же сезона за несколько лет. Дополнительные данные обычно связаны с погодными условиями (температура, влажность, ветер и т.д.); конечно, влияние температуры зимой и летом имеет противоположные знаки. Опыт показывает, что должны рассматриваться как фактическая температура, так и отличие её от температуры предыдущего дня и что необходимо принимать во внимание нелинейность функции и временные задержки.

Естественно, все это создает большие неудобства в работе электрокомпаний. Причем электрокомпании стремятся снизить пиковые нагрузки, чтобы уменьшить необходимые добавочные мощности и снизить затраты на обеспечение этого пикового спроса. Они также хотели бы увеличить непиковый спрос, чтобы улучшить использование электростанций.

Есть несколько методов решения этой проблемы:

- прямое управление пиковым спросом может быть достигнуто путем непосредственного отключения, переключения или изменения режима работы конечных потребляющих устройств (центральных кондиционеров, электрических обогревателей и т.д.); в промышленности могут быть установлены ограничители спроса;

- косвенные методы управления основаны на подаче покупателям через цену сигналов, побуждающих их изменить характер использования электроэнергии. Наиболее общая форма этих сигналов – тарифы, завися-

щие от сезона и времени суток, или специальные льготы при прерывающихся нагрузках.

С увеличением числа независимых промышленных производителей электроэнергии проблемы управления нагрузкой должны решаться и при местном производстве энергии, где часто задерживаются инвестиции, требуемые для обеспечения выгодных режимов работы.

Любой тип управления нагрузкой требует специфического энергетического анализа расходов и доходов для двух сторон.

Приведем ***пример*** такого энергетического обследования по управлению спросом на электроэнергию из зарубежной практики [11]. Вызвано это тем, что в наш переходный период на рыночные отношения в энергетике зарубежный опыт будет представлять несомненный интерес.

Введение

Рассматривается небольшой многофункциональный региональный государственный университет, в котором обучаются примерно 12000 студентов, находящийся в городе Коммерс, штат Техас.

К университету относится 100 зданий разных сроков постройки, начиная с 1894 г. Повышение цен на энергию вызвало необходимость разработки программы энергосбережения. Здания оборудованы практически всеми видами систем освещения и высокого напряжения и во многих случаях достаточно стары, что создает сложность в обслуживании.

Предложение

Первоначально предложено обследовать 24 здания, потребляющих более 85 % общего количества энергопотребления университета. Цель этой работы – исследование механических и электрических систем для выработки рекомендаций по изменению использования энергии и требований по обслуживанию.

Планирование работы

Ведущий инженер проекта составил план, описывающий задачи,

проблемы и ожидаемые результаты. Этот план, приведенный ниже, может быть полезными для применения на других объектах.

Цель

1. Исследование и анализ использования энергии.
2. Определение возможности сбережения энергии.
3. Разработка мероприятий по энергосбережению и оценка их эффективности.
4. Определение приемлемых источников финансирования.

Трудности

1. Недоступность зданий и систем для использования счетчиков.
2. Недостаточная информация по счетам.
3. Недостаток документации на оборудование.
4. Недостаток планов зданий.
5. Недостаточная гибкость системы.

Первоначальные решения

1. Встречи и обследование для выработки общего подхода.
2. Разработка планов, направленных на достижение цели и преодоление трудностей:
    а) сбор информации по счетам за прошедшее время;
    б) подготовка бланков обследования и сбор данных;
    в) проведение исследований на месте.

Последующие решения

1. Обзор данных о ресурсах и уточнение направления исследования.
2. Сбор необходимых дополнительных данных.

Математическая обработка данных

1. Расчет энергии и затрат по данным о ресурсах.
2. Подготовка сметы затрат.
3. Оценка периода возврата средств.

Решения

Рекомендация решений с указанием связанных с ними затрат и экономии средств.

Представление решений

1. Подготовка отчета.

2. Печатание отчета и изготовление копий.

Необходимая корректировка

Включение информации владельцев и связанная с этим корректировка.

Обследование зданий

Здания университета построены в разные годы. Для некоторых зданий имеются планы и спецификации или даже описания их механических и электрических систем.

Информация получалась от операторов систем и путем физического осмотра. Количество счетов было недостаточным для построения сезонных графиков. Измерительные устройства были подключены нецелесообразно. Было решено, что набор инвентарных форм будет заполнен персоналом, что сократит время работы исследовательских бригад на объектах. Эти формы были переданы в отдел обслуживания оборудования университета со следующими инструкциями:

1. Заполнить форму «Описание здания» для каждого здания.

2. Выбрать подходящий бланк описания оборудования для каждого типа оборудования, используемого в здании. Использовать столько бланков, сколько единиц оборудования находится в здании.

3. Внести необходимую дополнительную информацию в информационные листы.

Обсуждение

Университет использует для систем зданий две формы первичной энергии - электричество и природный газ. Электроэнергия, поставляемая электрокомпанией *Texas Power and Light Company*, подводится на территорию университета линией напряжением 12470 В через семь подстанций,

оборудованных измерительной аппаратурой, от которых распределяется по всем зданиям. От трех таких подстанций получали энергию 24 исследуемых здания. Природный газ, поставляемый *The Lone Star Gas Co*, также учитывался в семи контрольных пунктах, два из которых обслуживали исследуемые здания.

Поскольку электрические подстанции и газовые распределительные узлы, снабжающие исследуемые здания, обслуживали также и другие здания, данные учета не позволяли точно определить затраты на энергию для каждого здания. Ввиду этого доля энергии, используемая каждым зданием, была определена индивидуальным анализом, основанным на описании оборудования и данных о его загрузке, представленных персоналом. Эти данные, собранные в бланках обследования, описывали каждый элемент осветительных систем здания, а также его механических систем с их электроприводами. Были проведены измерения с целью определить средний уровень энергии, используемой каждым элементом системы. Исходя из этого уровня и режимов работы оборудования было рассчитано энергопотребление каждого здания. Это расчетное энергопотребление затем сопоставлялось со счетами для проверки реалистичности величин.

Бланки обследования включали специфические особенности элементов системы, такие как возраст, наработка, данные о прошлой эксплуатации, состояние, оценка надежности, тип, мощность и другие данные. Каждое здание было затем осмотрено, был проведен опрос персонала, данные обработаны по определенной схеме (табл. 9.2). Вся информация использовалась для определения зданий и систем, которые могли бы быть модернизированы без создания дополнительных трудностей для обслуживания и без ухудшения окружающей среды. Были рассмотрены возможности энергосбережения и оценена их стоимость и эффективность.

По каждой исследованной категории было выявлено множество недостатков. Обнаружены протекающие здания, пустующие, но по-прежнему освещаемые корпуса и т.д. Стало очевидно, что требуют наибольшего

внимания, во-первых, элементы систем, нуждающиеся в лучшем управлении, чтобы их работа соответствовала назначению здания и, во-вторых, устаревшее оборудование, на эксплуатацию и обслуживание которых необходимы чрезмерных затрат.

Таблица 9.2

Использование энергии в здании

Положение источника	Источник	Пути снижения энергопотребления
Внешний	Окружающие условия	Изменение характеристик здания (теплоизоляция и т.д.)
Внутренний	Освещение Люди Оборудование	Изменение нагрузки или управления ею
Внутри системы	Дополнительное потребление для нормальной работы	Изменение установленных систем

Система управления энергией

Действие ряда внутренних и внешних факторов может быть запрограммировано для оптимизации использования энергии. Величина энергосбережения зависит от того, удается ли точно управлять элементами систем для удовлетворения различных нужд. Для обеспечения этого создаются компьютерные системы автоматизации, часто называемые системами управления и контроля энергии. Они имеют различные возможности и должны выбираться исходя из уровня требований. В данном случае было необходимо, чтобы система управления имела функции включения и выключения, установки и контроля температуры, контроля потоков, сбора и записи данных. Кроме того, система должна была легко программироваться и быть в состоянии управлять разнообразными устройствами, чтобы к ней могли быть подключены все корпуса университета.

Были испытаны модульные системы, позволяющие комбинировать элементы для удовлетворения различных требований пользователя и способных расширяться. Эти системы используются для контроля оборудова-

ния как часть обслуживающей программы, которая способна регистрировать часы эксплуатации и выдавать печатные напоминания о необходимости смазки, смены фильтров, о повышенной вибрации, экстремальных температурных условиях и т.д. Применение такой программы позволяет улучшить режим работы оборудования, обслуживать большее его количество с повышенной эффективностью при меньшем количестве рабочей силы.

Была разработана технология, позволяющая использовать микропроцессорные блоки для обработки данных и управления оборудованием. Программа может быть написана на языке Фортран на компьютере и затем загружена в программируемый блок. Автоматизация рутинных операций дает пользователю значительную свободу после установки системы. Микропроцессоры могут выполнять функции запуска и остановки, автоматического контроля и сигнализации, даже если центральный компьютер отключен. Такая система надежна, гибка и удобна для управления энергопотреблением на различных установках.

Для определения оптимального уровня сложности системы необходимо рассчитать ожидаемое энергосбережение. Экономия за счет внедрения автоматизированной системы была оценена в 171700 дол. США. Ожидаемые затраты на ее установку равны 1104000 дол. США, следовательно, период окупаемости составляет 6,5 лет.

Снижение затрат путем ограничения спроса

Анализ счетов показал, что в месяцы с низким потреблением энергии университет вносил повышенную плату за киловатт-час в соответствии с Договором об обслуживании *Texas Power and Light Company*. Счета основывались на количестве использованной энергии и максимальном уровне спроса, но минимум спроса должен был быть не меньше 65 % от максимального зарегистрированного спроса.

Поскольку большую часть затрат составляли затраты на удовлетворение спроса, было решено установить системы его ограничения. Эти сис-

темы постоянно контролируют спрос и могут отключать оборудование в соответствии с заданным списком приоритетов, обеспечивая максимальный приемлемый уровень спроса. Оборудование снова подключается, когда это позволит уровень спроса. При этом каждое устройство имеет свой уровень приоритета, так что жизненно важное оборудование всегда остается в работе. Цена такой системы составляет 80000 дол**.** США. По расчетам, она позволит экономить ежегодно 59500 дол. США по прошествии полуторагодового периода окупаемости.

Модернизация электроосвещения

Было проведено обследование систем освещения и замеры уровня освещенности. Сделаны расчеты для определения экономии, которую можно было бы получить, осуществив модернизацию систем освещения. Определено, что снижение затрат энергии на освещение на 13 % вполне возможно без потери его качества. Экономия достигается изменением освещения лестниц и коридоров, а также снижением мощности декоративных ламп. Значительное энергосбережение оказалось возможным в спортзале путем замены ламп накаливания, обладающих низким КПД, высокоэффективными натриевыми лампами высокого давления. Примерная стоимость этих мероприятий составляет 288400 дол**.** США. Ожидаемый эффект - 149500 дол**.** США в год после двухлетнего периода окупаемости.

Распределительные системы

Большинство зданий университета оборудовано собственными механическими системами. Однако механические установки двух корпусов можно вынести в центральную станцию. Индивидуальные системы разнообразны, от маленьких оконных установок с электрическими нагревательными спиралями до больших центробежных охладителей и паровых котлов. Общая охлаждающая мощность таких систем более 2000 т (7040 кВт). Центральные установки с распределительными сетями и соединениями зданий обеспечивают существенное сбережение энергии. Более высокий КПД элементов системы, используемых на центральной станции, может

сохранить до 50 % энергии, требуемой для индивидуальных систем. Более низкие начальные инвестиции благодаря меньшей потребности в машинах, меньшая стоимость обслуживания, повышенная надежность системы, стандартизация заменяемых деталей, дополнительная гибкость для перестройки в зданиях - все это преимущества центральных станций.

В ходе анализа зданий и расположения существующих центральных станций была разработана схема, по которой могут быть соединены большинство независимых строений. План включал добавление к существующей распределительной системе новых трубопроводов для пара и охлажденной воды с подключениями к зданиям. Мощность станций также должна быть увеличена. Стоимость этих изменений составляет примерно 625000 дол. США. Экономический эффект был оценен в 50200 дол. США в год.

Снижение энергопотребления механических систем зданий

В университете использовалось множество различных вентиляционных систем.

Системы, которые позволяли изменять поток воздуха, направляемый в помещения, имели сравнительно низкую энергоемкость. Системы, которые подавали постоянный поток воздуха, но изменяли его температуру путем управления нагревательными или охлаждающими радиаторами, имели среднее энергопотребление. Многозонные и двухканальные системы, установленные почти в половине зданий, были крупными потребителями. Эти системы обеспечивали комфортные условия с помощью холодного и горячего воздушных потоков, которые смешивались для получения желаемой температуры. Для этого требовалось, чтобы и нагревающая, и охлаждающая установки работали одновременно.

Для улучшения работы этих систем могут быть добавлены управляющие устройства, обеспечивающие оптимальную температуру горячего и холодного воздушных потоков, что позволит снизить потери энергии. Расчеты для десяти зданий, где используются такие системы, показали, что

затраты на реконструкцию составят примерно 100000 дол. США. Годовая экономия 21800 дол. США при периоде окупаемости 4 года.

Системы с умеренным энергопотреблением будут преобразованы в системы с минимальным потреблением путем добавления терминальных управляющих устройств. Стоимость модернизации этих систем была оценена в 78000 дол. США, а экономия на затратах - в 13400 дол. США в год. Период окупаемости - 6 лет.

Настройка регуляторов вентиляции и баланс наружного воздуха

Многие здания были оборудованы циркуляционными системами с использованием для охлаждения наружного воздуха, когда это возможно. В некоторые здания подавалось фиксированное количество наружного воздуха для обеспечения вентиляции. Хотя при установке систем объемы подачи наружного воздуха были настроены правильно, первоначальная регулировка многих из них оказалась нарушенной. Это увеличивало энергопотребление, так как неправильная настройка требует усиленного нагрева или охлаждения воздуха. Необходимой стала перенастройка, стоимость которой была принята 72000 дол. США. Снижение необходимых объемов нагрева и охлаждения должно сэкономить 9300 дол. США в год. Срок окупаемости - 8 лет.

Архитектурные рекомендации

Обследование определило улучшения, которые могли быть сделаны для снижения нагрузки некоторых систем кондиционирования и отопления. Были рекомендованы добавление солнцезащитных устройств, улучшение теплоизоляции стен, реконструкция крыш для снижения энергопотребления механических систем. Эти мероприятия, стоящие 300000 дол. США, должны обеспечить экономию 28700 дол. США в год с периодом окупаемости 10 лет.

Модернизация механических систем

Системы некоторых зданий было решено полностью переоборудовать, чтобы обеспечить надежную работу. Большинство таких систем пре-

высили свои срок службы, и их обслуживание стоило слишком дорого.

Рекомендации

В табл. 9.3 приведены и обобщены разработанные рекомендации. Годовые объемы экономии основаны на проектных показателях и являются оценочными.

Таблица 9.3

Рекомендации

Поз.	Пункт	Затраты, дол. США	Годовой эффект, дол. США	Период окупаемости, лет
1	Компьютерные системы управления энергией	1104000	171700	6,5
1а	Ограничение спроса	80000	59500	1,5
2	Освещение	288400	149500	2
3	Распределение	625 000	50200	12,5
4	Механические системы зданий	100000	21800	4,5
4а	Регуляторы температуры воздуха	78000	13400	6
5	Настройка систем внеш. воздуха	72000	9300	8
6	Архитектурные решения	300000	28700	10,5
	Итого	2647400	504100	5,5
А	Модернизация механических систем	500000		

Примечание. Сроки окупаемости подобных мероприятий в нашей практике существенно ниже и обычно не превышают 2 – 3 лет.

Заключение

Университет штата Техас получил отчет об исследовании и решил обеспечить его финансирование. В следующем году часть средств была получена; первый этап работ включал выполнение рекомендаций 1 и 3. Работа на этом этапе предусматривает установку контрольно-измерительной аппаратуры, необходимой для получения исходных данных. Далее на этом этапе планируется создание дополнительных распределительных трубопроводов центральных станций. Следующие этапы будут включать модернизацию систем зданий и подключение их к распределительным системам и компьютерной системе управления энергоснабжением.

Контрольные вопросы

1. Основные цели энергетических обследований?
2. Назовите наиболее важные, на ваш взгляд, причины нерационального расхода:
   - электроэнергии,
   - тепловой энергии.
3. Организационные условия проведения энергетических обследований.
4. Необходимо ли проведение целевого энергетического обследования по управлению спросом на энергию для объектов вашего учебного учреждения?

10. Вопросы экономики при отоплении помещений (на примере Германии)

10.1. Применение улучшенной тепловой изоляции

Введение

Рост объемов жилой площади, которая сегодня составляет, например, в Германии в среднем 36 м^2 на человека, приводит к тому, что одна треть от общего энергопотребления используется для отопления помещения (рис. 10.1). Приблизительно три четверти энергии, расходуемой в быту, необходимы для отопления жилья (рис. 10.2).



Рис. 10.1. Среднегодовое распределение расхода энергии потребителями в Германии в 1991 г.

Среднегодовое потребление энергии для отопления помещений составляет от 160 до 260 кВт·ч/м^2 для систем центрального отопления, работающих на природном топливе. На рис. 10.3 показано годовое потребление тепловой энергии в зданиях различных конструкций [11].

В настоящее время существует термин – дом с низким потреблением энергии. Потребление энергии в таком доме составляет только одну треть от среднего потребления энергии во всем жилищном фонде Германии.

Строительство таких домов открывает возможность сократить выбросы углекислого газа и защитить окружающую среду.



Рис. 10.2. Среднегодовое распределение расхода энергии в быту в Германии в 1991 г. (без транспорта)

Последние нормативы Федерального правительства по использованию тепловой изоляции направлены на сокращение ежегодного потребления тепла в новых зданиях примерно на 30 % по сравнению с прежними нормативами 1982 г., а также на уменьшение тепловых потерь в существующих зданиях. Перед концом десятилетия намечается принятие еще более строгих норм. Тогда все здания должны будут строиться согласно стандарту низкого потребления энергии.

Опыт Германии по этой проблеме представляет наибольший интерес для условий России, так как именно в данной стране за последние 30 лет достигнуто значительное (в 2 – 3 раза) снижение расхода топлива на отопление, в том числе при целевой реконструкции жилья бывшей ГДР.

Конструкции зданий с низким потреблением энергии

Архитектор и заказчик должны уже сегодня использовать стандарты низкого потребления энергии при проектировании и строительстве новых зданий. Такие здания не должны отличаться от обычных внешним видом. Хорошая архитектура и высокий уровень жизни, возможность сохранения

энергии и защита окружающей среды должны не исключать, а дополнять друг друга.

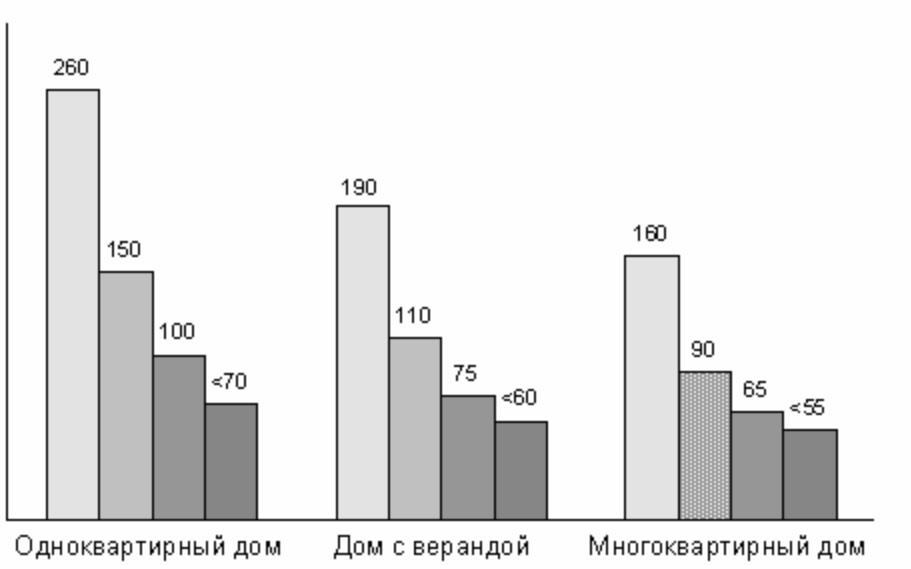


Рис. 10.3. Годовое энергопотребление для отопления помещении в зданиях различных конструкций, кВт·ч/м^2:

- существующий жилищный фонд;
- нормативы по применению тепловой изоляции '82 года;
- нормативы по применению тепловой изоляции '93 года;
- дома с низким потреблением энергии.

Дополнительные затраты

Применение улучшенной тепловой изоляции ведет к увеличению затрат при строительстве. В новых нормативах по использованию тепловой изоляции дается количественная оценка дополнительных затрат при строительстве:

- больших зданий 1,5... 2,5 %;
- маленьких зданий 2,5...4 %.

В среднем строительство зданий с низким потреблением энергии приводит к росту затрат на 3...5 %. Использование систем вентиляции воздуха также увеличивает затраты на 1,5...2,5 %.

Этот небольшой рост затрат может быть скомпенсирован отказом от использования дорогостоящих проектных решений в других частях здания.

Количественные и качественные изменения в энергопотреблении становятся очевидными при рассмотрении теплового баланса дома с низким потреблением энергии:

• благодаря улучшенной теплоизоляции внешних ограждений здания тепловые потери путем теплопередачи уменьшаются до одной трети по сравнению с обычным домом;

• тепловые потери, связанные с вентиляцией, сокращаются до значений, обеспечивающих санитарные нормы. Однако их доля в общих потерях увеличивается;

• тепловые потери вследствие вентиляции становятся настолько значимыми, что может представить интерес система утилизации тепла;

• количество потребляемой солнечной энергии уменьшается, но ее доля в балансе энергии здания значительно возрастает;

• дом с низким потреблением энергии нагревается главным образом энергией солнца и внутренних источников. Система отопления должна покрывать менее 50 % тепловых потерь;

• жители зданий с низким потреблением энергии оказывают большое влияние на тепловой баланс здания, поскольку потери, связанные с вентиляцией помещений, составляют значительную часть общих тепловых потерь.

Наиболее эффективной стратегией, ведущей к сокращению потребления энергии для обогрева зданий, является оптимизация теплоизоляции.

Тепловые потери вследствие теплопередачи

Передача тепла через стены, окна и другие части здания в окружающее пространство описывается так называемым *k*-фактором, Вт/(м^2·К), определяемым как тепловой поток через один квадратный метр при разности температур в 1 К. Чем ниже *k*-фактор, тем меньше тепловые потери. Для стен тепловые потери определяются теплопроводностью и теплоотдачей с поверхности.

Гиперболическая кривая (рис. 10.4) показывает зависимость теплопередачи от толщины теплоизоляционного слоя. Увеличение толщины изоляции в два раза приводит к снижению тепловых потерь на 50 % (сплошная линия). В реальных зданиях должны быть приняты во внимание дополнительные условия: тепловые мосты, сокращение времени нагрева вследствие наличия внутренних источников тепла, солнечная радиация. Все это приводит к более высокому уровню тепловых потерь (пунктирная линия).

Рисунок 10.4 демонстрирует следующее:

- важность применения надежной теплоизоляции;

- необходимость ограничения толщины тепловой изоляции, поскольку чрезмерное ее возрастание не приводит к существенному снижению тепловых потерь;

- в среднеевропейском климате увеличение толщины теплоизоляционного слоя сверх 20 см не приводит к более высокому уровню сбережения энергии. Не существует «дома с нулевым потреблением тепла», поскольку тепловые потери не могут быть уменьшены до нулевого значения, даже с помощью суперизоляции.

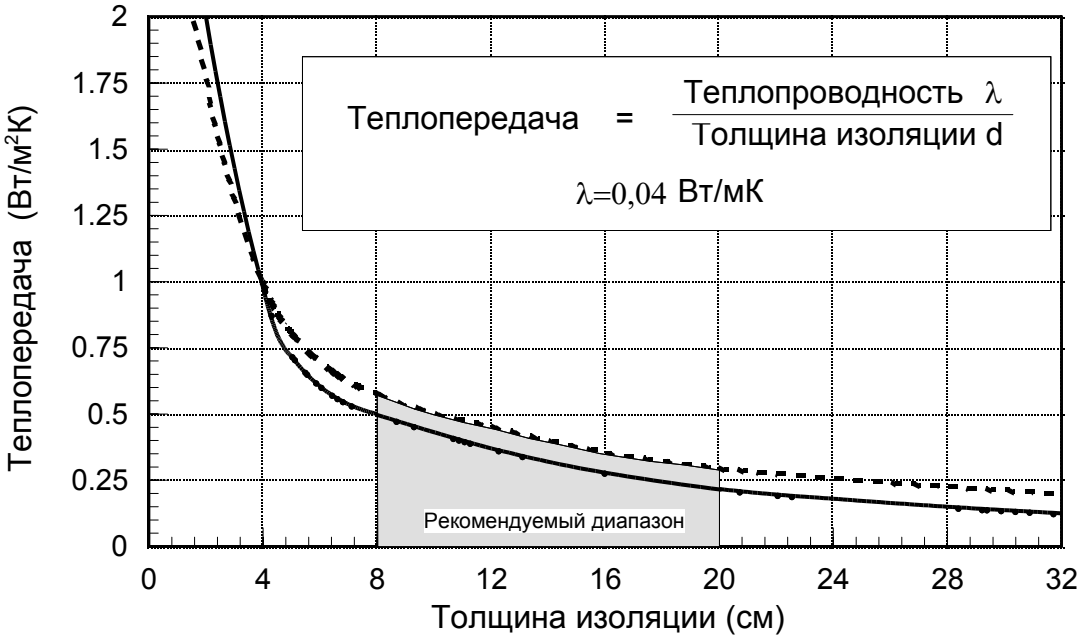


Рис. 10.4. Теплопередача в изоляционном слое, отнесенная к его толщине (λ/d)

В Германии диапазон рекомендуемой толщины теплоизоляционного слоя находится между 8 и 20 см. На рис. 10.5 и рис. 10.6 представлены усредненные значения толщины теплоизоляции для различных стран. Легко видеть влияние климатических условий.

Конструкции зданий

Значительное влияние на потребление энергии оказывает размер внешней поверхности здания. Компактная конструкция здания с малой поверхностью при неизменном обогреваемом объеме снижает тепловые потери и, следовательно, затраты на обогрев. Это так называемое A/V – отношение площади поверхности к объему является важным фактором при проектировании зданий с низким потреблением энергии.

Рисунок 10.7 показывает важность этого соотношения.

Уход от тепловых мостов

Тепловые мосты вызывают рост локальных тепловых потерь, увеличивая общие тепловые потери за счет теплопередачи. Улучшение тепловой изоляции снижает значение таких утечек в тепловом балансе здания.

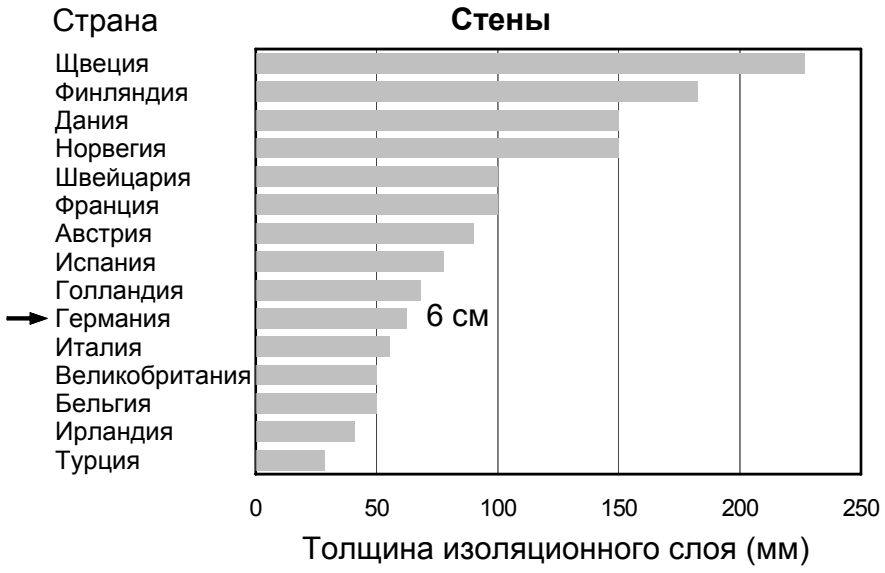


Рис. 10.5. Используемые толщины теплоизоляции стен, данные 1990 г.

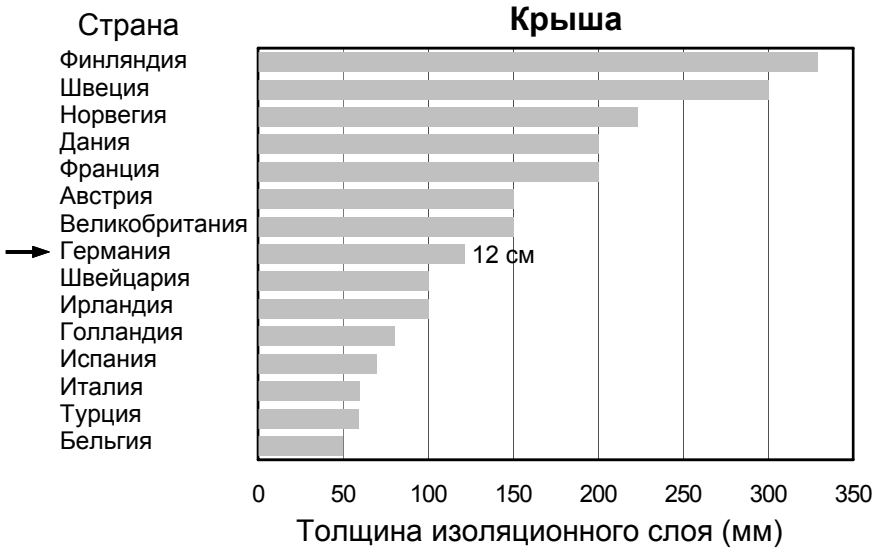


Рис. 10.6. Используемые толщины теплоизоляции крыши, данные 1990 г.

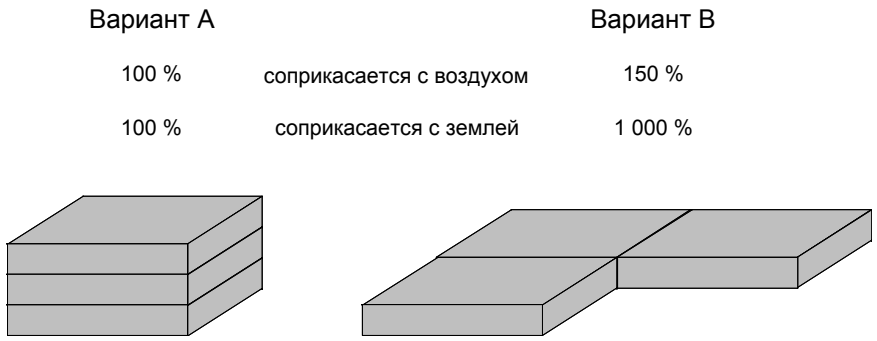


Рис. 10.7. Конструкции зданий с различным A/V-отношением

Окна

Тепловые потери через окна определяются значениями теплопроводности, конвекции и излучения. Несколько лет назад окна были самыми слабыми местами в здании в отношении тепловых потерь. В настоящее время разработаны весьма совершенные конструкции окон. Конвекция между стеклами уменьшена благодаря использованию специальных газов, в частности аргона. Излучение существенно снижено вследствие использования покрытия, нанесенного на стекло. В этих новых конструкциях k-фактор может спадать до 0,6 Вт/(м^2·К).

Плотность внешнего покрытия здания

Внешнее покрытие здания должно быть достаточно плотным, поскольку утечки воздуха в местах неплотных стыков нежелательны по многим причинам:

• в зависимости от числа и размера этих стыков они ведут к большим или меньшим неконтролируемым тепловым потерям;

• возможны повреждения конструкций из-за скапливания конденсирующейся влаги;

• при низкой внешней температуре и сильном ветре возможно резкое возрастание тепловых потерь.

Для устройства современных систем вентиляции, отвечающих санитарным нормам, воздухонепроницаемость покрытия здания является наиболее важным условием. Ее достижение – задача как конструктора, так и строителя здания.

Для домов с низким потреблением энергии желательно испытание повышенным давлением для выявления возможных утечек воздуха. Для этого испытания может использоваться специальная вентиляционная система, создающая внутри дома давление выше или ниже внешнего. При измерении воздушных потоков утечки могут быть обнаружены с помощью источника дыма.

Требуемый санитарными нормами обмен воздуха может быть эффективно реализован механической системой вентиляции.

Пассивное использование солнечной энергии

Окна – наиболее важный элемент в использовании солнечной энергии для обогрева. С одной стороны, окна работают как солнечные коллекторы без дополнительных затрат, но, с другой стороны, тепловые потери через окна значительно больше, чем через стену, имеющую хорошую теплоизоляцию.

На рис. 10.8 показан баланс энергии фасада здания, обращенного на юг. Рисунок иллюстрирует зависимость тепловых потерь от доли окон в

площади фасада при различном качестве изоляции окон и стен. Лучший путь к сохранению энергии состоит в снижении *k*-фактора стен. Дом с низким потреблением энергии – это дом с хорошей теплоизоляцией.

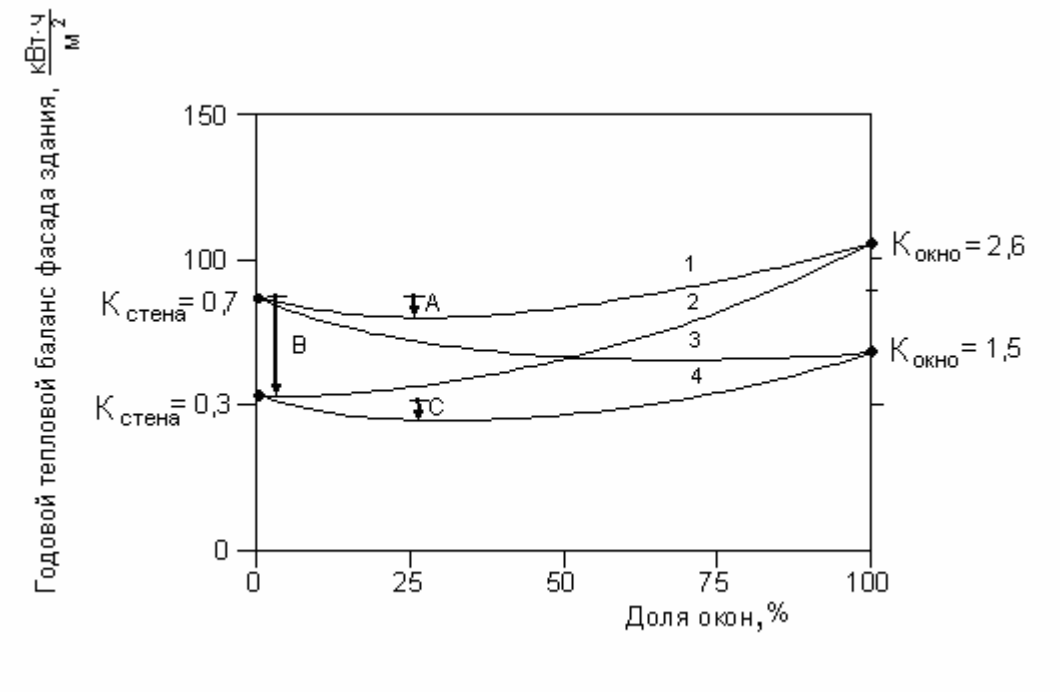


Рис. 10.8. Баланс энергии фасада здания, расположенного на южной стороне

Улучшение тепловой изоляции приводит к большей экономии энергии, чем увеличение площади окон, воспринимающих солнечную радиацию. С ростом поверхности окон возрастает также опасность перегрева вследствие солнечной радиации в летнее время. Подчеркнем еще раз, что лучший способ снизить потребление энергии заключается в применении хорошей тепловой изоляции стен. Сбережению энергии способствуют также хорошие конструкции окон.

Теплоемкость здания

В здании с большой теплоемкостью возможно успешное пассивное использование солнечной энергии. Особенно важно, чтобы внутренние стены были изготовлены из материала с большой теплоемкостью. Такие конструкции помогают также сохранять низкую температуру в летнее вре-

мя.

Однако не следует переоценивать значение теплоемкости здания в решении проблемы энергосбережения. Даже конструкции с большой теплоемкостью способны только в течение двух дней предотвращать сильное охлаждение помещения. Они неэффективны в течение более длительных периодов плохих погодных условий.

Прозрачные теплоизоляционные системы

В настоящее время применяется полупрозрачный теплоизоляционный материал, в толще которого имеется множество небольших воздушных камер. Попадающие на стену здания солнечные лучи нагревают ее, при этом сокращаются тепловые потери. Но эти материалы еще проходят испытания. Пока не ясно, будет ли применение прозрачного теплоизоляционного материала лучшим решением по сравнению с другими методами энергосбережения. В летнее время оно потребует автоматически работающей системы экранирования.

Примеры стеновых конструкций

На рис. 10.9 и рис. 10.10 представлены удачные конструкции двух типов стен.

На рис. 10.9 показана конструкция стены с толщиной внешнего теплоизоляционного слоя не менее 10 см. Внешняя теплоизоляция позволяет избежать появления тепловых мостов.

На рис. 10.10 представлена другая конструкция теплоизоляции, включающей воздушный промежуток толщиной не менее 4 см и расположенной между наружным слоем отделки и кирпичной кладкой. Материал внешней отделки может быть различным, типа древесины или пластмассы, в зависимости от желаемого внешнего вида.

На обоих рисунках показано распределение температуры по толщине стены.

Нормативы по использованию тепловой изоляции

Новые нормативы по использованию тепловой изоляции действуют с 1 января 1995 года. Годовое потребление тепловой энергии определяют следующие факторы:

- теплоотдача,
- вентиляция,

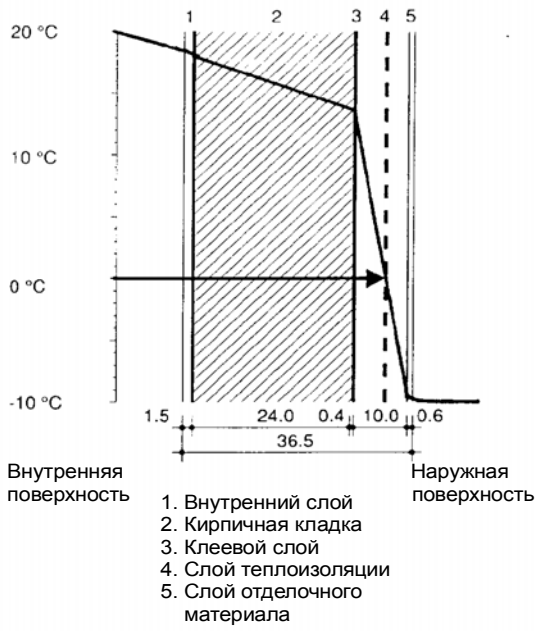


Рис. 10.9. Конструкция стены с наружным теплоизоляционным слоем

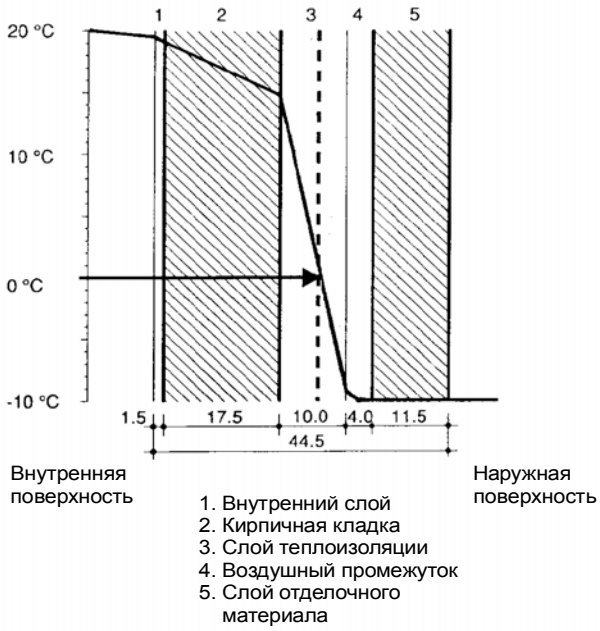


Рис. 10.10. Конструкция двухслойной стены с наружным слоем, защищающим теплоизоляцию

- внутренние источники энергии,
- солнечная энергия.

Все эти факторы учитываются новыми нормативами.

Максимально допустимое потребление зависит от так называемого A/V-отношения, которое определяется как отношение внешней поверхности (A) к объему здания (V). На рис. 10.11 показано допустимое годовое удельное энергопотребление в зависимости от A/V-отношения.

По сравнению со старыми нормативами по использованию тепловой изоляции новые нормативы ведут к уменьшению потребления тепловой энергии приблизительно на 30 %.

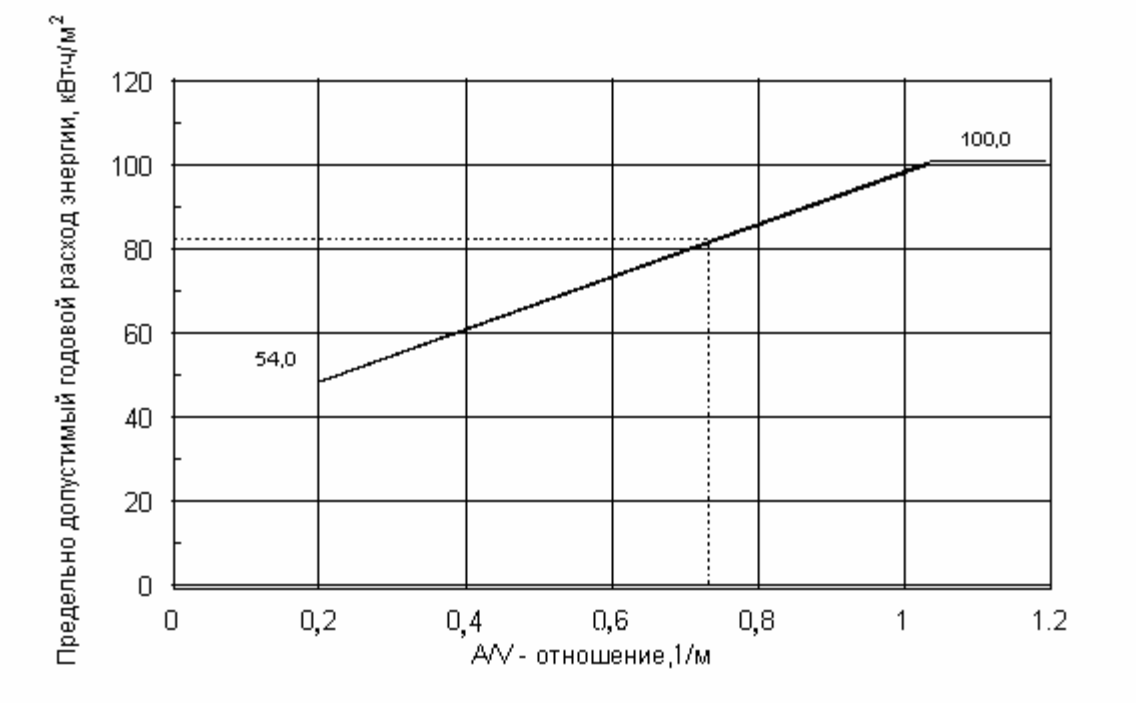


Рис. 10.11. Зависимость предельно допустимого удельного годового расхода тепловой энергии, кВт·ч/м^2, от A/V-отношения

10.2. Электрические нагреватели с аккумулированием тепла

В Германии используются три основные системы электрических приборов для отопления помещений:

- нагреватели прямого действия,
- нагреватели на основе тепловых насосов,
- нагреватели с аккумулированием тепла.

Нагреватели прямого действия

С технологической точки зрения нагреватели прямого действия, требующие минимальных капитальных затрат, являются наиболее простыми системами для отопления. В Германии пик нагрузки, как решающий фактор для электростанций и энергосистем, приходится на зимнее время. Дополнительная установка систем отопления приводит к большим капитальным затратам и даже заметно повышает цены на бытовую электроэнергию.

При этом следует иметь в виду, что при климатических условиях, преобладающих в центральной Европе, отопительный период непродолжителен, порядка 1500 часов в год. Именно в этом причина, почему потребители энергии «боролись против» систем прямого нагрева с высокими тарифами за электроэнергию.

Нагреватели на основе тепловых насосов

Детальная информация о принципе действия и работе приведена в разд. 10.3.

Нагреватели с аккумулированием тепла

В шестидесятые годы XX в. в Германии большинство домов было оборудовано печным отоплением. Применялись угольные печи и печи, работающие на жидком топливе. Обе системы требовали обслуживания, и жители были заинтересованы в появлении автоматизированных отопительных систем. Со своей стороны, предприятия-производители электроэнергии были заинтересованы в заполнении «ночной» ниши, которое позволило бы сбалансировать нагрузку на сеть в ночное и дневное время. На рис. 10.12 показан суточный график нагрузки на электрическую сеть в Германии. В 1965 г., до того как нагреватели с аккумулированием тепла стали широко использоваться, нагрузка на сеть в ночное время снижалась до 50 %. График для 1985 г. показывает достаточно ровную нагрузку на сеть, которая обеспечивается главным образом использованием нагревателей с аккумулированием тепла. В этот период природный газ еще не был доступен на рынке как конкурентоспособный источник первичной энергии. Эти благоприятные условия привели к быстрому распространению системы нагрева с использованием нагревателей с аккумулированием тепла. Для замены угольных котлов в старых зданиях были разработаны нагреватели с аккумулированием тепла для систем центрального отопления, а для новых зданий – нагреватели такого типа для подогрева пола. Для но-

вых зданий система «нагревателей с аккумулированием тепла для обогрева полов» приобрела существенное значение.

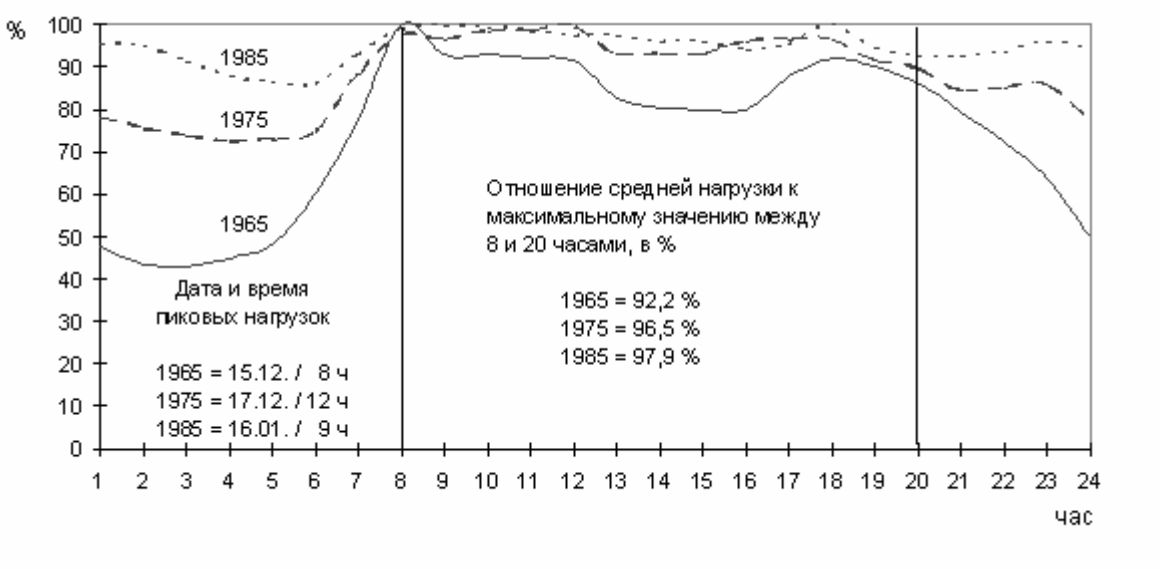


Рис. 10.12. График энергопотребления в зависимости от времени суток

Было построено всего несколько так называемых «систем центрального отопления с аккумулированием тепла», которые, как и другие подобные системы, состоят из центрального нагревателя, от которого горячая вода поступает в радиаторы или в трубы водяного подогрева полов.

Теперь несколько статистических данных. В Германии приблизительно 2,4 миллиона квартир оборудовано нагревателями с аккумулированием тепла, это составляет примерно 9 % (столько же квартир с централизованным теплоснабжением). Приблизительно 95 % нагревателей с аккумулированием тепла установлено в каждой комнате. На рис. 10.13 показан принцип действия подобного нагревателя. Системы подогрева пола и системы центрального отопления с аккумулированием тепла составляют соответственно 3 и 2 %.

В настоящее время большой интерес вызывает вопрос расхода первичной энергии на отопление. Но прежде чем ответить на него, необходимо проанализировать возникающие потери энергии.

Любая система нагрева имеет потери:

- при генерировании тепла,

• при распределении тепла,

• при работе системы управления, когда возникает ситуация несоответствия между вырабатываемой тепловой энергией и необходимой.

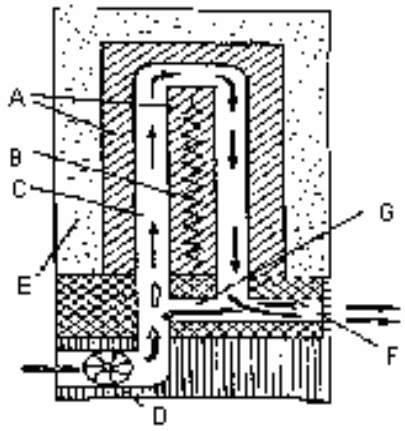


Рис. 10.13. Нагреватель с аккумулированием тепла:

A – оксид магния; B – резистивный нагреватель; C – шахта для воздуха; D – вентилятор; E – теплоизолятор; F – выход горячего воздуха; G – обходной канал

Потери в генераторе тепла при работе электрических нагревателей отсутствуют, так как электрическая энергия непосредственно превращается в тепловую. Потери в распределительной системе также отсутствуют, поскольку тепло генерируется непосредственно в помещениях. Потери, связанные с управлением, могут иметь место, если нагреватель отдает большее количество тепла, чем фактически необходимо.

Нагреватели с аккумулированием тепла отдают энергию двумя путями:

- через поверхность,

- через воздушный поток, образуемый работающим вентилятором.

Отдача тепла с поверхности регулируется корректировкой мощности нагревателя. Согласно немецким стандартам нагреватель должен отдавать только 60 % мощности через поверхность.

С учетом тепловой инерции массивных конструкций здания система управления регулирует количество аккумулированной теплоты в соответствии с внешней температурой последних двух дней. Точное поддержание заданной температуры в помещении производится с помощью вентилятора, установленного в нагревателе, который по мере необходимости включается или выключается.

Нагреватель с аккумулированием тепла обладает следующими преимуществами:

• приток тепла от внутренних источников, таких как осветительные лампы, или от солнечного излучения, проходящего через окна, немедленно приводит к снижению теплоотдачи нагревателя;

• нагреватели с аккумулированием тепла имеют очень высокую производительность, поэтому требуется только несколько минут, чтобы нагреть помещение до необходимой температуры при возвращении жильцов в холодную квартиру;

• в начале и в конце отопительного сезона часто нет необходимости отапливать всю квартиру. Можно отапливать каждую комнату отдельно;

• система позволяет точно определить потребление энергии. Каждый пользователь может получить информацию, сколько энергии он израсходовал.

В Научно-исследовательском институте (*FfE*) была произведена оценка потребления энергии в быту. На рис. 10.14 показано распределение потребления конечной энергии в 506 квартирах в городе Эссен. Оно отвечает нормальному закону распределения Гаусса.

Конечная энергия является видом энергии, которую оплачивает потребитель. Это единственный вид энергии, который может быть точно измерен.

Рисунок 10.14 показывает, что потребление составляет 92 кВт·ч/м^2 в год.

Приблизительно 50 % пользователей потребляют меньше 90 кВт·ч/м^2

в год. В соответствии с новыми нормами допустимое потребление электроэнергии лежит в пределах от 54 до 100 кВт·ч/м^2 в год в зависимости от A/V-отношения.

Подобная оценка была проведена для сравнения потребления энергии в квартирах с электрическими нагревателями, аккумулирующими тепло, и квартирах домов с центральным отоплением, работающим на жидком топливе. Результат приведен на рис. 10.15. Квартира отапливается системой, работающей на жидком топливе, потребляет в среднем 207 кВт·ч/м^2 в год.

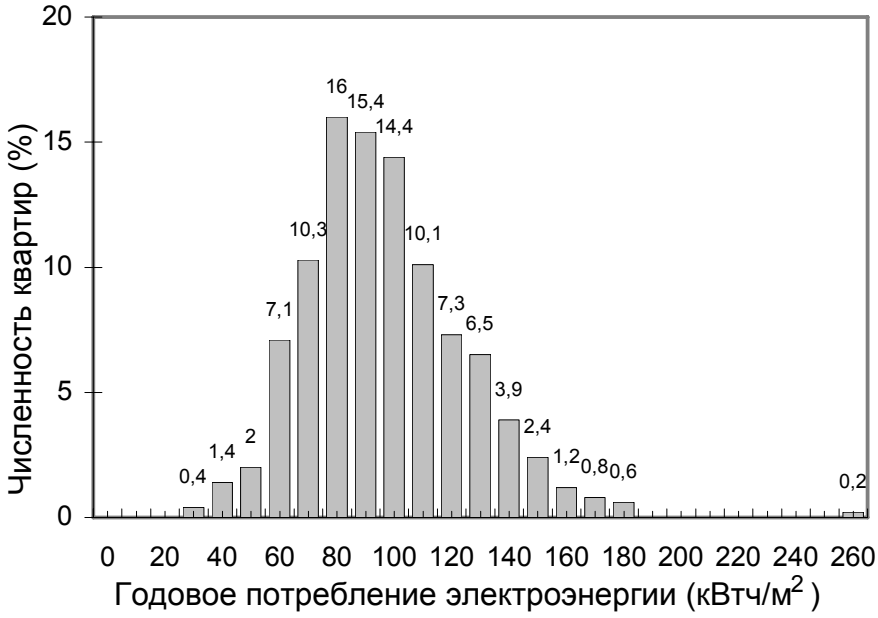


Рис. 10.14. Распределение поквартирного потребления конечной энергии

Столь различное потребление конечной энергии убеждает в том, что нагреватели с аккумулированием тепла конкурентоспособны. Расходы на электроэнергию составляют меньше половины всех расходов на содержание жилища, поскольку потребление энергии нагревателями происходит в ночное время, оплачивается по льготному тарифу и может контролироваться.

Для оценки первичной энергии следует учесть потери при ее производстве и передаче. В Германии потребление первичной энергии нагревателями с аккумулированием тепла оказывается лишь на 40 % выше, чем системами центрального отопления на жидком топливе. Приемлемы ли такие потери, следует решать в зависимости от рода первичной энергии.

По эмиссии CO_2 обе системы почти одинаковы.

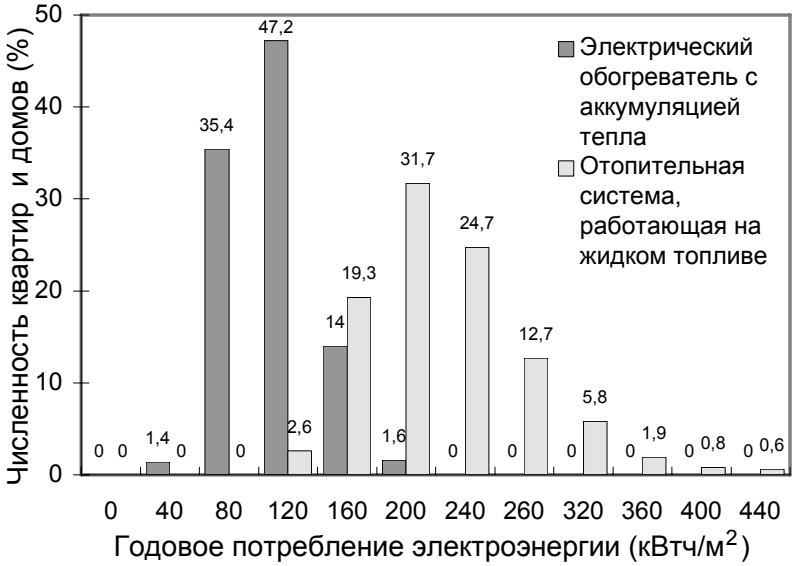


Рис. 10.15. Распределение поквартирного потребления конечной энергии в зависимости от типа обогревателя

Электрические водонагреватели

Развитие электрических водонагревателей началось в пятидесятые годы, когда угольные и нефтяные водонагреватели были заменены электрическими. Эти настенные установки емкостью 60 или 80 литров (номинальной мощностью от 2 до 6 кВт) включались за некоторое время до приема ванны. Поскольку они не имели тепловой изоляции, прогревалась также и ванная комната. Сейчас водонагреватели подобной конструкции вышли из употребления.

Настенные нагреватели для кипячения воды позволяют получать до

5 литров горячей или кипящей воды. Каждый раз перед использованием прибор заполняется необходимым количеством воды. Устройство подключается к сети мощностью 2 кВт.

Электрические водонагреватели с теплоизоляцией позволяют сохранять высокую температуру воды, которая может быть получена в любой момент без задержки. Нагреватели «открытого типа» с одним выпускным краном и неопрессованным присоединением к водопроводу имеют емкость 5, 10, 15, 30, 50, 80 и 100 литров и номинальную мощность от 1 до 6 кВт. Небольшие нагреватели объемом 5 или 10 литров предназначены для установки в кухне или на раковине для мытья и подключаются к сети мощностью 2 кВт.

Имеются также спрессованные водонагреватели «закрытого» типа, питающие несколько выпускных кранов. Емкость таких нагревателей может быть 80, 100, 120, 200, 300 и 400 литров при установленной мощности от 1 до 6 кВт. При емкости 200 и более литров они включаются в ночное время и оплачиваются по низкому тарифу.

Тепловые насосы объединяются с резервуарами для хранения горячей воды емкостью до 300 литров. Они устанавливаются в нежилых помещениях. Их мощность приблизительно 500 Вт, максимальная температура нагрева воды 60°С.

Широко применяются в Германии водонагреватели проточного типа. Они компактны, поскольку не имеют резервуара, и нагревают воду, текущую через нагреватель. Такие нагреватели требуют довольно значительном мощности: 18, 21, 24 и 27 кВт. Приборы подключаются к трехфазной сети.

Короткое время работы нагревателей проточного типа (приблизительно 10 минут на человека в день) определяет малую вероятность одновременного включения таких установок (ниже 5 % для 100 нагревателей); в отношении нагрузки на сеть нет различия между работой нагревателей проточного типа и нагревателей с емкостью для воды.

Водонагреватель проточного типа может работать на несколько выпускных кранов. Однако краны, по возможности, не должны использоваться одновременно. Нагреватели проточного типа не имеют горячего резервуара, потребляют энергию только тогда, когда через них протекает поток воды, поэтому они не имеют тепловых потерь.

Водонагреватели проточного типа могут включаться на различные ступени мощности в зависимости от расхода воды, которым точно регулируется температура ее на выходе. Эти приборы широко используются в Германии, в течение 30 лет их установлено около 8 миллионов.

Водонагреватели проточного типа с электронным управлением оборудуются регулятором мощности и термостатом. Их режимы работы могут быть отрегулированы и приспособлены к индивидуальным условиям потребителя. Температура воды на выходе нагревателя остается постоянной даже при изменении ее расхода. Их стоимость приблизительно в три раза выше, чем стоимость обычных проточных нагревателей, но доля их на рынке уже превышает 20 %. По сравнению с обычными потребление энергии электронными проточными нагревателями примерно на 10 % ниже, главным образом благодаря системе управления.

10.3. Тепловые насосы

Уже в XIX в. был разработан принцип действия теплового насоса, который до сегодняшнего дня используется в каждой холодильной установке. При работе теплового насоса теплота отбирается от менее нагретого источника и передается более нагретому приемнику путем ввода в систему дополнительной механической энергии. Рисунок 10.16 иллюстрирует процесс с использованием в качестве рабочего тела газа пропана R290.

В южных широтах тепловые насосы хорошо известны и применяют-

ся для охлаждения. Их принцип работы является единственно возможным

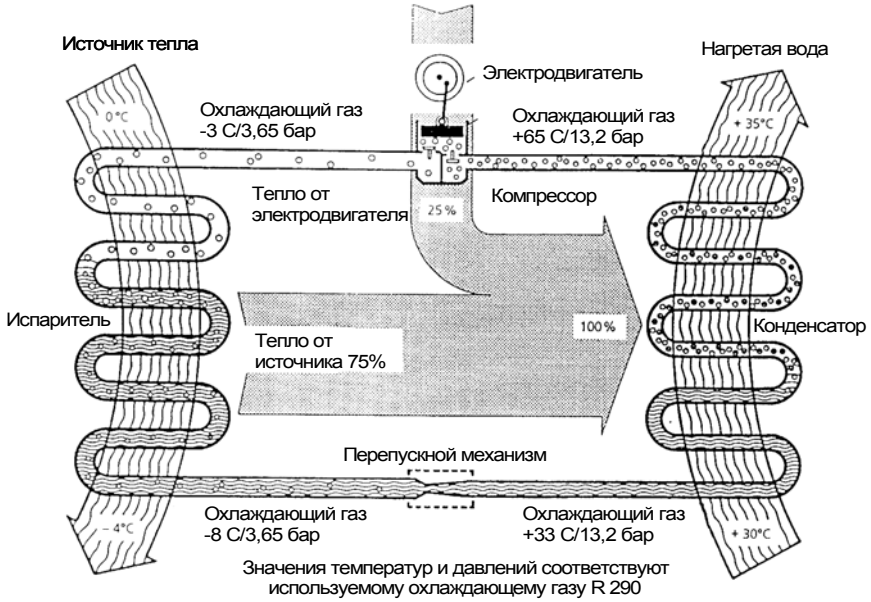


Рис. 10.16. Диаграмма работы теплового насоса

решением этой задачи. Для обогрева тепловые насосы применялись довольно редко, поэтому на потребительском рынке возникает много вопросов по их использованию несмотря на их удобства и преимущества.

Тепло, требуемое большую часть года, веками получалось за счет сжигания топлива. Сначала это был уголь, затем началось использование нефти. В настоящее время все более широкое применение находит природный газ.

Технология работы теплового насоса относительно проста. С термодинамической точки зрения этот способ нагревания нерационален. Однако сегодня требуются технические новшества, чтобы отойти от пути «обычного» сжигания топлива и ввести в практику новые технологии теплоснабжения. В больших плотно застроенных районах, где транспортировка тепловой энергии возможна без больших потерь, целесообразно использование центральных отопительных систем.

Тепловые насосы особенно пригодны для одно- и двухквартирных домов, и в этом секторе начинают конкурировать с тепловыми системами, работающими на природном топливе.

В конце шестидесятых годов были сделаны первые попытки использовать для получения полезной тепловой энергии термодинамические системы, обеспечивающее сбережение первичной электроэнергии при выработке тепла. Однако уровень цен на энергию, капитальные затраты и технические трудности сделали эти попытки безуспешными. Кризис цен на нефть в 1973 году выявил необходимость использовать для получения тепла другие источники с непрямым преобразованием электрической энергии в тепло.

Для уяснения проблемы рассмотрим диаграммы расхода энергии. На рис. 10.17 показано распределение энергии при использовании системы центрального отопления, работающей на жидком топливе. Согласно исследованиям, проводимым *Fichtner Development Engineering* с 1993 г., из 100 % сырой нефти используется как топливо для отопительных систем только 84 % из-за расхода энергии на добычу, транспортировку и очистку. Даже при годовом коэффициенте использования топлива 85 % только 71 % первичной энергии будет представлять собой полезную тепловую энергию на выходе системы отопления.

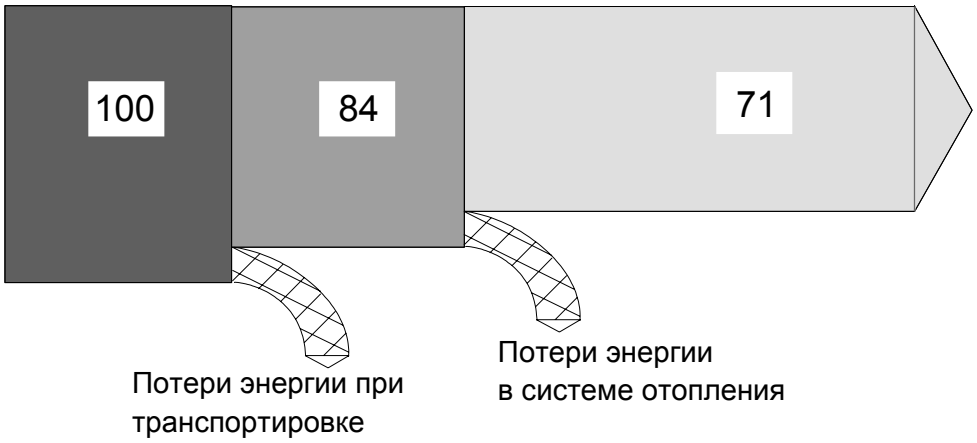


Рис. 10.17. Диаграмма распределения энергии при работе системы центрального отопления на жидком топливе, %

На рис. 10.18 показано распределение энергии для современных теп-

ловых насосов, которые все шире используются в новых зданиях в Германии. Электрическая энергия производится с использованием различных первичных источников энергии на электростанциях со средним коэффициентом полезного действия 36 %. Из-за расхода энергии на транспортировку топлива только 97 % первичной энергии достигает электростанции. На выходе электростанции полезная энергия составляет 35 % первичной, и вследствие потерь при ее транспортировке потребителем используется только 33 %. Современные тепловые насосы с показателем эффективности 4,0 увеличивают выход полезной энергии до 133 % от первичной. Даже для показателя эффективности теплового насоса 3,0 все потери на длинном пути от сырого топлива до полезной энергии у потребителя оказываются скомпенсированными.

На рис. 10.19 дано сравнение эффективности работы различных систем получения тепловой энергии. Показано, что применение тепловых насосов с электрическими двигателями значительно повышает коэффициент использования первичной энергии.

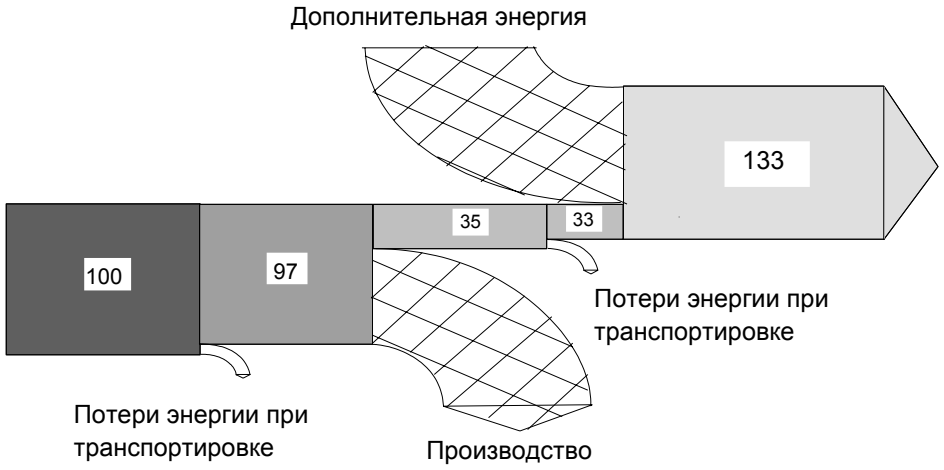


Рис. 10.18. Диаграмма распределения энергии при работе теплового насоса с электрическим двигателем, %

На рис. 10.20 сравниваются выбросы CO_2 при работе аналогичных

систем. Максимальное образование CO_2 происходит при работе на жидком топливе. Переход на природный газ уже ведет к заметному уменьшению выбросов CO_2. Еще лучше показатели при использовании тепловых насосов.

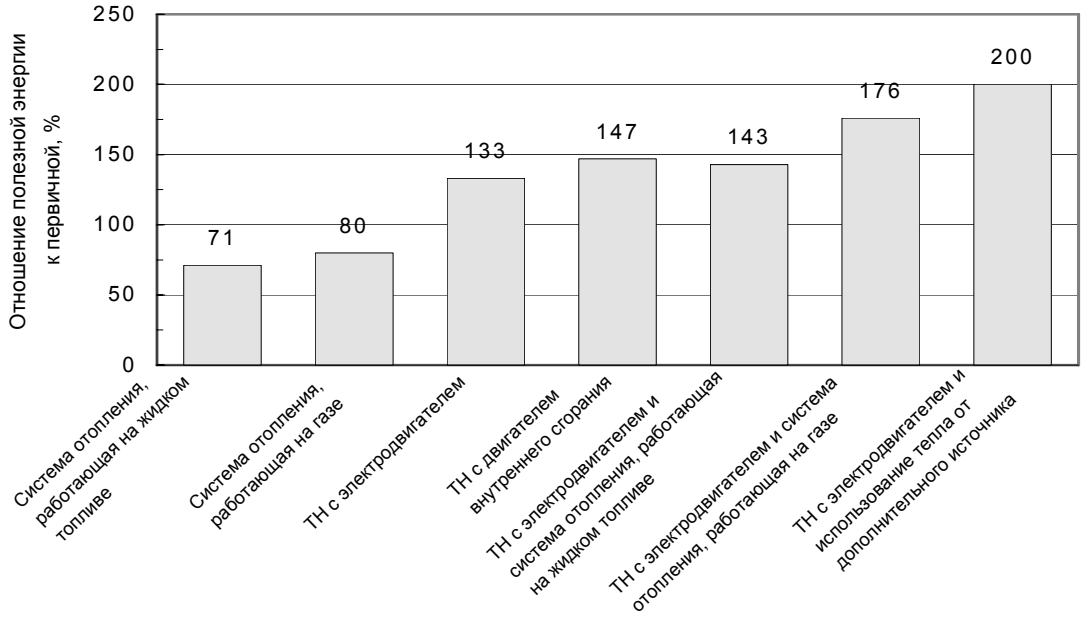


Рис. 10.19. Эффективность использования первичной энергии в различных системах нагрева

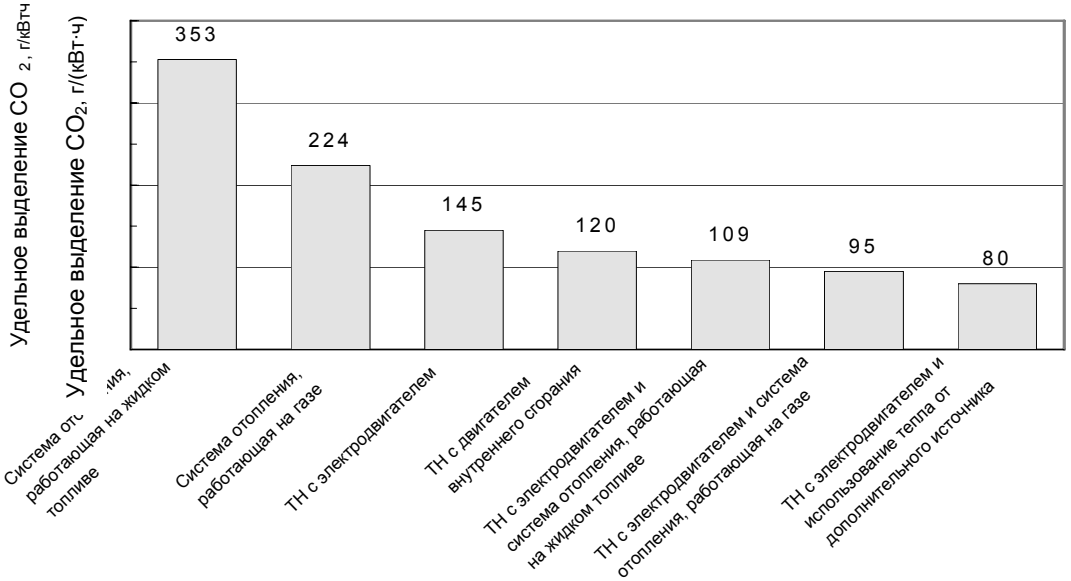


Рис. 10.20. Выделение CO_2 при работе различных систем нагрева

Перспективно применение тепловых насосов на электростанциях для утилизации низкотемпературного тепла. Даже электростанции нового поколения имеют большие резервы развития в отношении лучшего использования энергии. Новые электростанции имеют коэффициент полезного действиям приблизительно 58 %. Использование тепловых насосов с показателем эффективности 4,0 на тепловых станциях позволяет повысить эффективность их работы до 200 %, что в 2,5 раза выше, чем у станций, работающих на газе.

Обширной областью применения тепловых насосов является оборудование ими существующих зданий. Сейчас в жилищном фонде используются главным образом системы водяного центрального отопления. При низкой наружной температуре необходимо поддерживать температуру воды в системе отопления между 70 и 90 °С. 39 % жилищного фонда отапливается системами, работающими на жидком топливе, 32 % –работающими на газе. Для этих зданий, независимо от их размера, разработана двойная система нагрева, в которой тепловой насос дополняет существующую систему.

Такие двойные системы рентабельны уже при получении от теплового насоса 25 – 50 % требуемой энергии. Однако фактически тепловой насос покрывает от 65 до 85 % годовой потребности в тепловой энергии (рис. 10.21). Только при очень низких температурах наружного воздуха бойлер включается в работу. В этих системах теплота отбирается от наружного воздуха, такой источник энергии имеется повсюду и легко доступен. Включение тепловых насосов в системы обогрева зданий технически достаточно простое. В настоящее время в Германии работают 45 000 подобных тепловых установок.

Вторую часть рынка тепловых насосов составляют новые здания. Она намного меньше по объему, но очень важна с психологической точки

зрения. Хотя ежегодно реконструируется только около 1...2 % существующих зданий, но они представляют значительный потенциал для

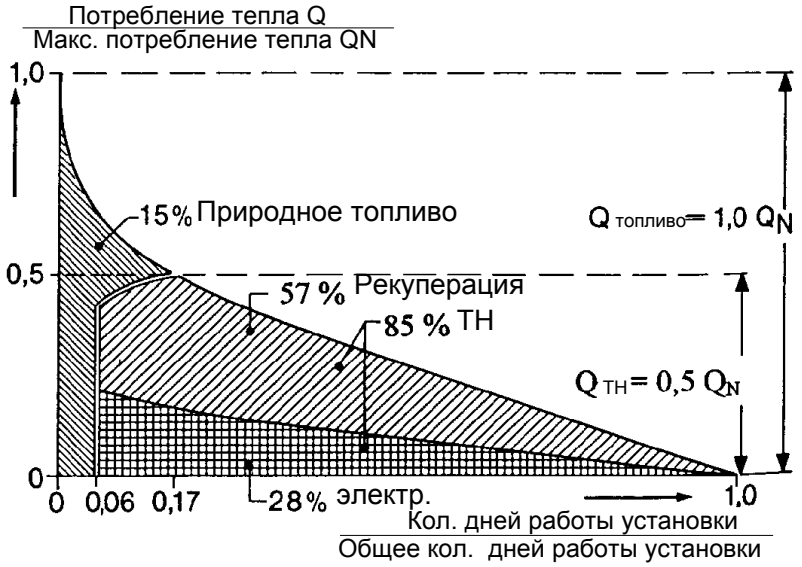


Рис. 10.21. Эффективность совместной работы различных систем для получения тепла

усовершенствования и модернизации систем нагрева.

В новых зданиях тепловые насосы должны гарантированно работать в течение всего года. Дублирующая вторая система отопления не устанавливается во избежание дополнительных затрат. Широкое применение тепловых насосов в новых зданиях положительно влияет на репутацию этой технологии и способствует ее распространению в дальнейшем как при отдельной, так и при совместной работе тепловых насосов с другими системами нагрева. Наружный воздух по температурному потенциалу не удовлетворяет полностью предъявляемым требованиям как источник первичной энергии для круглогодичной работы тепловых насосов. Использование грунтовых вод для этой цели также вызывает определенные трудности. В связи с этим все более привлекательным становится использование почвы. В новых зданиях с небольшими потребностями в энергии возможно использование такого источника при достаточно низких капитальных затратах (рис. 10.22). В настоящее время разработаны различные системы, каж-

дая из которых имеет свои преимущества и недостатки.

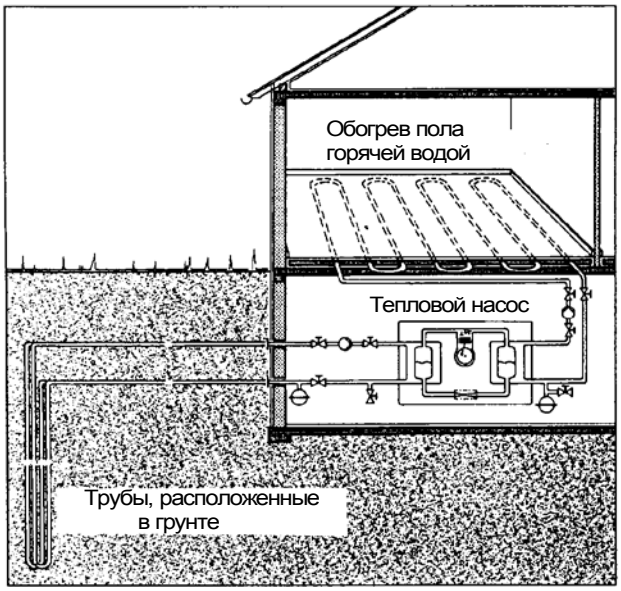


Рис. 10.22. Тепловой насос с использованием энергии грунта

При работе теплового насоса используется вода с относительно низкой температурой, поэтому радиаторы не применяются. Конвекторы также редко используются в жилых помещениях в Германии. Наиболее перспективными являются системы отопления горячим воздухом и с подогревом пола. Однако в Германии системы отопления горячим воздухом, для которых необходима дорогая управляющая электроника, почти не применяются.

Оптимальным решением является система подогрева пола с использованием теплового насоса. С энергетической точки зрения предпочтительно иметь относительно толстые пластмассовые трубы (размером 20х2 мм), обеспечивающие теплопередачу к поверхности пола без больших потерь. Тепловые насосы в системах обогрева могут достигать годового показателя эффективности между 3,5 и 4,5.

В зданиях с низким потреблением энергии, в которых поддерживается плотность внешнего покрытия, температура воды на входе может быть уменьшена до 30 °С в наиболее холодные дни. При этом станет возмож-

ным увеличение годового показателя эффективности до 5,0. Температура воды в системе отопления автоматически поддерживается в соответствии с температурой наружного воздуха. Благодаря автоматическому контролю в работе системы отопления учитывается также действие других источников тепла, например солнечной радиации.

Тепловые насосы представляют собой экологически чистые системы, которые способствуют сбережению энергии и уменьшению образования CO_2. Более того, они позволяют управлять потребностью в тепловой энергии. Модернизация электростанций и существующих заводов в будущем повысит значимость тепловых насосов. Модернизированные электростанции, парогазовые установки, комбинированная выработка тепловой и электрической энергии (где процесс, конечно, синхронизирован с системой нагрева) - области применения тепловых насосов, которые значительно лучше систем, основанных на сжигании газа или жидкого топлива, благодаря термодинамическим преимуществам и возможности использования возобновляемой энергии. Постепенно применение тепловых насосов охватит всю область генерирования низкотемпературного тепла для отопления помещений.

В заключение можно сказать, что тепловые насосы с использованием возобновляемой энергии и регенерацией тепла являются наиболее перспективной системой выработки тепловой энергии. В будущем эти системы займут прочное место на рынке.

10.4. Системы вентиляции воздуха

Начало энергосбережению в жилых зданиях было положено улучшением тепловой изоляции стен и крыш. В начале 1980-х гг. вентиляционные потери тепла жилых зданий составляли приблизительно 30 % от общего потребления тепла. Следующим шагом стали действия, направленные

на уменьшение потерь через окна и двери. Для новых зданий доля потерь тепловой энергии при вентиляции составляет приблизительно 45 % общей потребности, а для зданий с низким потреблением энергии – 65 %. В настоящее время каждый вновь построенный дом оборудован окнами совершенной конструкции с величиной *k*-фактора от 0,6 до 1,7 Вт/(м^2·К). В зданиях более ранней постройки с целью уменьшения потерь тепла были установлены окна с двойным остеклением. Все это приводит к тому, что естественный обмен воздуха в помещениях становится недостаточным.

Нет никаких гарантий, что со временем потребление тепловой энергии будет сокращаться. Все еще большую роль играет неосведомленность людей о том, как рационально обогреть и проветрить свой дом. Исследования, проведенные в 1987 г., показали, что проветривание через окна было намного продолжительнее, чем ожидалось. В результате этого эксперимента выяснилось, что большинство жителей вообще не знает, сколько времени следует проветривать помещения. С учетом не поддающихся контролю действий человека были сделаны расчеты объективно необходимых объемов вентиляции, чтобы в дальнейшем минимизировать связанные с нею потери энергии.

После реконструкции старых зданий, в которых были установлены уплотненные окна, стала сказываться недостаточность естественной вентиляции. Обычно в зданиях старой постройки имеются тепловые мосты в стенах и крыше. В этих местах появлялась сырость вследствие недостаточного удаления пара, выделяющегося в помещении.

Использование механических систем вентиляции позволяет решить обе проблемы, возникающие при естественной вентиляции, – высокие потери тепловой энергии при избыточной вентиляции и повышенная влажность при недостаточной. При этом ставится задача сокращать уровень потребления тепловой энергии в жилых зданиях. Однако требования санитарных норм вынуждают удалять большое количество теплого воздуха из помещений.

Решением этого противоречия может быть регенерация тепловой энергии, запасенной в использованном воздухе. Регенерация тепловой энергии с помощью теплообменников уже широко используется в мощных вентиляционных системах, которые устанавливаются в гостиницах, универмагах, больницах и т. д.

Сейчас имеются различные вентиляционные системы для жилых зданий. Очень простой и недорогой способ состоит в использовании местных механических систем вентиляции. Устройства, оборудованные теплообменником (рис. 10.23), монтируются в стенах или окнах и могут обеспечить каждую комнату достаточным количеством свежего воздуха.

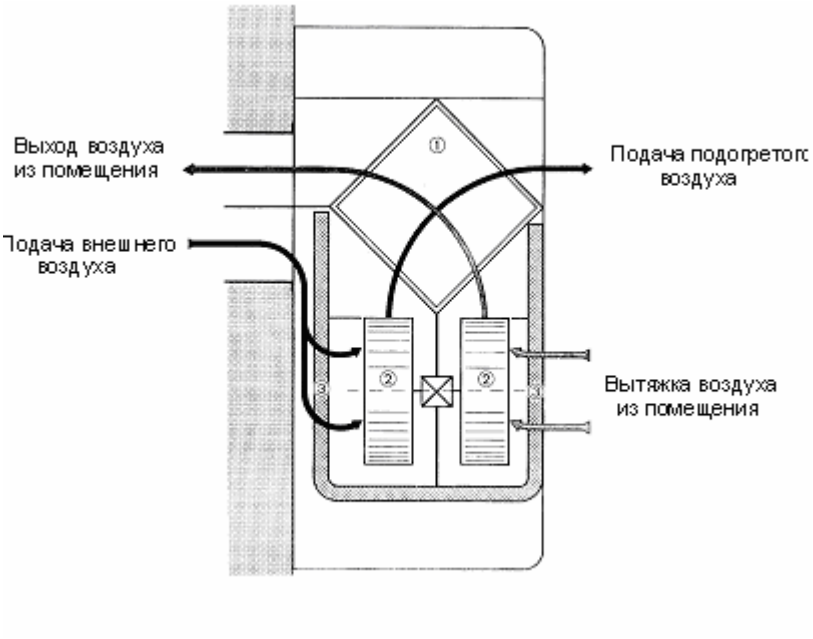


Рис. 10.23. Система вентиляции с теплообменником:
1 – теплообменник;
2 – вентилятор;
3 – фильтр

Однако при использовании механических систем вентиляции с теплообменниками в неуплотненных зданиях, в которых воздух в большом количестве поступает естественным путем, сбережение энергии невозможно. Если доля естественной вентиляции через различные неплотности в

здании велика, то доля воздуха, проходящего через систему вентиляции, соответственно мала, что уменьшает эффект регенерации тепловой энергии. Более того, потребление энергии электрическими двигателями неэффективной системы вентиляции должно быть добавлено к общему расходу энергии. Это означает, что здание должно иметь достаточную степень уплотнения, чтобы механическая система вентиляции была эффективна. Для старых зданий естественная вентиляция воздуха не должна превышать 0,3 $ч^{-1}$ (Δp = 50 Па). В зданиях с низким потреблением энергии этот показатель должен быть не выше 0,1 $ч^{-1}$.

Чтобы система вентиляции была эффективной, ее работу необходимо согласовать с работой системы нагрева. Это особенно сложно, когда в системах вентиляции используются тепловые насосы для регенерации тепловой энергии. Здесь необходимы новые разработки в области одновременного контроля вентиляции и системы нагрева. Совместная система должна работать таким образом, чтобы фоновая подача тепла обеспечивалась системой вентиляции с регенерацией энергии, а система нагрева покрывала пиковые тепловые нагрузки (рис. 10.24, а, б).

Механические системы вентиляции должна быть оборудованы экономичными двигателями, которые необходимо постоянно совершенствовать.

В настоящее время механические системы вентиляции не являются общедоступными вследствие относительно высокой стоимости. Но они имеют большие достоинства, создающие повышенный комфорт, позволяя

- использовать фильтр для очистки поступающего воздуха;
- снизить уровень внешнего шума благодаря использованию второго фильтра с абсорбирующим веществом;
- держать окна постоянно закрытыми, что важно по соображениям безопасности.

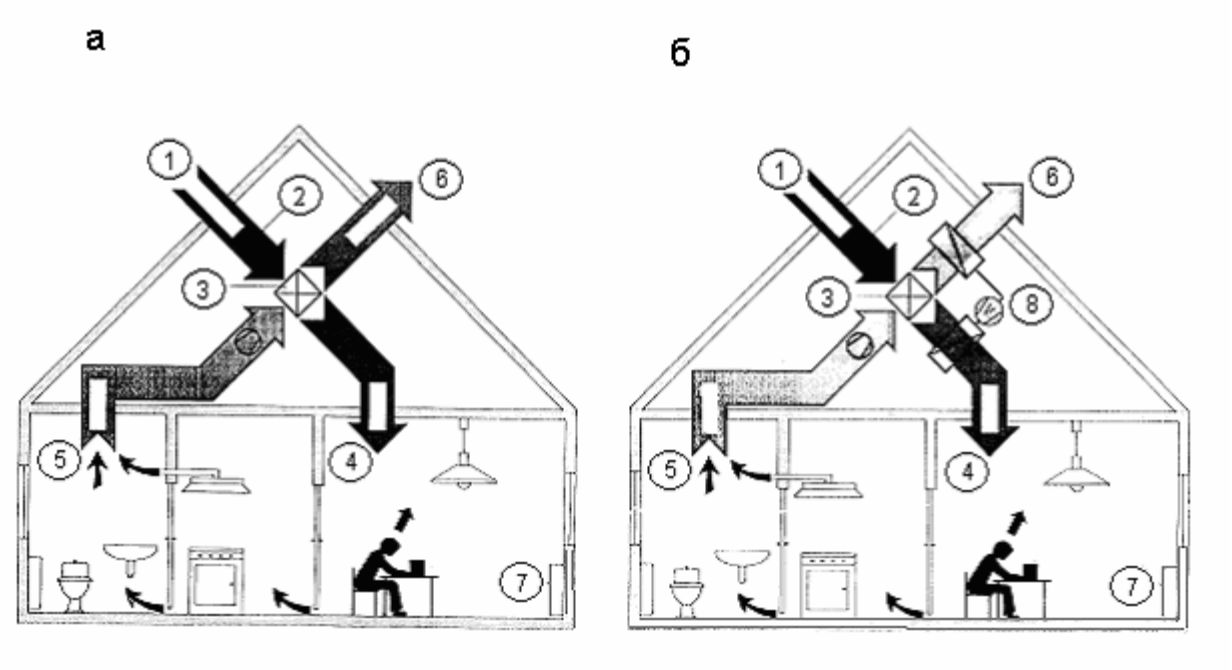


Рис. 10.24. Система вентиляции с теплообменником (а);
с теплообменником и тепловым насосом (б):
1 – подача наружного воздуха; 2 – вентилятор; 3 – теплообменник; 4 – вход воздуха в помещение; 5 – выход воздуха из помещения; 6 – выход воздуха из здания; 7 – обогреватель; 8 – тепловой насос

10.5. Инфракрасная термография

Экономия энергетических ресурсов – это дополнительный источник энергии, поэтому задача обогрева помещений сводится не только к решению проблемы выделения тепла в помещении для создания комфортных условий, но и снижению потерь тепловой энергии.

Тепловые потери в здании возникают вследствие дефектов стенных конструкций, неплотно закрываемых оконных блоков, плохой теплоизоляции и ее разрушения под воздействием внешних погодных факторов и т. д.

В настоящее время имеется широкий спектр первичных датчиков и приборов для измерения различных тепловых величин. При обследовании жилого фонда наибольший интерес представляет измерение температурных полей внутренних и наружных поверхностей здания, а не измерение

интегральной величины тепловых потерь. Градиенты температурного поля позволяют определить места расположения тепловых мостов и дефектов теплоизоляции.

Получить картину температурного поля на поверхности объекта возможно контактным (термометры, термопары, терморезисторы и т. д.) и бесконтактным (тепловизоры (инфракрасные термографы), фотоэлектрические пирометры, оптические пирометры) методами.

Практика использования измерительных устройств различных видов позволяет отметить следующие преимущества тепловизионного контроля, делающие этот метод идеально подходящим для решения задачи диагностирования жилищного фонда:

1) обнаружение дефектов теплоизоляции конструкции здания на ранней стадии их развития;

2) бесконтактный неразрушающий контроль.

В настоящее время с успехом используются приборы для измерения инфракрасного излучения (инфракрасные термографы), которые имеют следующие отличительные черты:

- широкий диапазон измеряемой температуры;
- высокая разрешающая способность, разрешение в несколько раз выше, чем у электромеханических сканирующих систем;
- малые размеры и масса (приборы настолько малы, что напоминают современную видеокамеру);
- высокая точность измерений;
- возможность запоминания данных измерений в стандартном цифровом формате;
- простота в использовании;
- возможность подключения внешнего запоминающего устройства, совместимого с персональным компьютером;
- надежность в работе;

- автоматическая коррекция сигналов, снимаемых с элементов ИК чувствительной матрицы;
- возможность и легкость обработки данных измерений на РС.

Пример использования инфракрасной термографии с целью определения источников повышенного теплового излучения различных объектов приведен на рис. 10.25.



Рис. 10.25. Термографическая картина старого здания с видимыми тепловыми мостами

Контрольные вопросы

1. Какой из описанных приемов снижения потерь энергии на отопление наиболее приемлем в условиях России?
2. Целесообразно ли использование электроподогрева в условиях России?

11. Энергетический паспорт

11.1. Общие сведения

Для того чтобы на объекте (здание, производство) и тем более на предприятии развивать комплексную систему эффективного энергопотребления, необходимо прежде всего создать соответствующую систему контроля эффективности потребления энергоресурсов как на предприятии, так и на отдельных его производствах. В основу такой комплексной системы контроля должен быть положен документ, регистрирующий энергоэффективность объекта. В нашей стране накоплен большой опыт по подготовке подобных документов: разработаны и ведутся паспорта, особенно в коммунальном хозяйстве городов и населенных пунктов. Однако энергетические паспорта практически не получили развития вследствие незначительной доли энергетических затрат в коммунальных расходах и практически полного отсутствия какого-либо учета и тем более регулирования расхода энергоресурсов в коммунальной сфере.

Ввиду резкого роста в последние годы расходов на тепло- и энергоснабжение жилого, бюджетного фондов, остро встал вопрос о разработке энергетических паспортов зданий и сооружений. Типовая форма такого документа была разработана в 1992 – 1994 гг. в НИИ строительной физики (г. Москва). В 1994 г. требование об энергетической паспортизации было включено в московские городские строительные нормы МГСН 2.01–94 «Энергосбережение в зданиях». Но в ряде регионов России, в том числе в Свердловской области, энергетические паспорта получили широкое распространение как документ, регистрирующий энергоэффективность предприятия, муниципального образования и субъекта Федерации в целом.

Введение энергетических паспортов, например, на территории

Свердловской области связано, прежде всего, с попытками наведения элементарного порядка в системе производства и потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Для решения данной задачи необходимо как минимум владеть достоверной информацией по производству и потреблению ТЭР и иметь возможность регулировать этот процесс.

Основные предпосылки для разработки энергетических паспортов [72]:

– необходимость внесения изменений в сложившуюся систему социальных нормативов минимальной бюджетной обеспеченности по разделам, связанным с расходами на коммунальные услуги (центральное отопление, горячее водоснабжение) для муниципальных образований и бюджетных организаций;

– введение лимитов на топливно-энергетические ресурсы для организаций, финансируемых из бюджетов различного уровня, имеющих льготы по налогам и (или) за получаемые топливно-энергетические ресурсы;

– необходимость организации контроля тарифов на услуги энергоснабжающих организаций;

– отсутствие достоверной информации по производству и потреблению топливно-энергетических ресурсов в муниципальных образованиях и бюджетных организациях.

Социальные нормативы минимальной бюджетной обеспеченности (далее по тексту – социальные стандарты), являясь основой формирования межбюджетных отношений, не учитывали основных особенностей, определяющих затраты на услуги жилищно-коммунального хозяйства (теплоснабжение, горячее водоснабжение, водоснабжение и водоотведение). Во-первых, климатические особенности районов. По данным СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», показатель суровости климата на севере Свердловской области на 12 % больше, чем в южных районах. Во-вторых, не учитывался удельный расход тепловой энергии на отопление жилого фонда в зависимости от его этажности: удельные затраты на отопление од-

ного квадратного метра общей площади для различных строений различаются в 2 – 2,5 раза. Так, для отопления одного квадратного метра одноэтажного здания постройки до 1985 г., возведенного без учета энергосберегающих мероприятий, необходимо затратить тепловой энергии в 2,5 раза больше, чем для отопления здания высотой более 5 этажей, построенного с учетом энергосберегающих мероприятий после 1985 г., и это вполне соответствует положениям СНиП 2.04.07–86* «Тепловые сети». В-третьих, используемые социальные стандарты не учитывают стоимость тепловой энергии, вырабатываемой различными теплоисточниками (различной мощности, использующими различные виды топлива). В любом регионе тарифы на тепловую энергию в зависимости от вида сжигаемого топлива, от мощности котельной и степени используемой мощности могут различаться более чем в 2 – 3 раза. Так, себестоимость тепловой энергии, вырабатываемой на газовой котельной, в 2003 г. находилась в пределах 150 – 200 руб. за 1 Гкал, а вырабатываемой на угольной котельной – 500 руб. за 1 Гкал, т. е. в 2 – 2,5 раза выше. Из вышеизложенного вполне очевидно, что затраты на отопление единицы площади жилого фонда могут различаться в 4 – 5 раз.

Следующей предпосылкой создания энергетических паспортов, как отмечалось выше, является отсутствие достоверной информации по производству и потреблению топливно-энергетических ресурсов в бюджетных организациях и в муниципальных образованиях.

Объективной причиной недостаточной достоверности информации является отсутствие приборов учета расхода энергетических ресурсов на предприятии либо низкий уровень класса точности данных приборов. Объемы потребления энергетических ресурсов в таких случаях считаются по нормативам, методикам, принятым в далеком прошлом и не всегда корректно используемым в настоящее время. Зачастую используется информация, получаемая «по наследству», из старых отчетов и т.п. Анализируя во время энергетических обследований схемы теплоснабжения населен-

ных пунктов, предприятий, объектов социальной сферы, достаточно часто можно встретить несоответствие проектных и фактических данных эксплуатируемого оборудования, тепловых сетей и т.п. Эта типовая ошибка возникает как на стадии строительства, так и в период эксплуатации. Неудивительно, что при расчетных методах определения расходов ТЭР по данным объектам в основу закладываются первые проектные решения, принятые на бумаге, и это ведет в дальнейшем к систематической ошибке при эксплуатации этих систем. В полной степени такой подход характерен и для объектов социальной сферы.

Серьезными факторами, сказывающимися на достоверности информации, являются изменения в административно-территориальном делении региона. Образование новых муниципальных образований путем выделения их из существующих, воссоединение ранее разделенных территорий приводят к хаосу в информации. Вновь созданные образования, как правило, не имеют достаточной документации по своей собственности, оставшиеся вынуждены корректировать имеющиеся данные с учетом выбывших. Органы статистики также вынуждены вносить коррективы в структуру обрабатываемой информации. И самое неприятное – что существующие формы энергетического паспорта, принятые довольно давно, не всегда несут достаточную и достоверную информацию.

Разработка энергетических паспортов организаций, муниципальных образований, технических паспортов котельных призвана способствовать решению этих многообразных и сложных проблем.

Введение паспортов позволяет:

1) создать единую расчетную базу по определению объемов потребления энергоресурсов на территории области, а также показателей планирования расходов бюджетных организаций за коммунальные услуги;

2) ввести обоснованные нормативы (лимиты) потребления топливно-энергетических ресурсов в организациях бюджетной сферы;

3) организовать контроль дисциплины цен организаций –

поставщиков коммунальных услуг, обслуживающих бюджетные организации и население.

Данные, закладываемые в паспорт организации, с одной стороны, позволяют проверять правильность определения объемов предоставляемых – получаемых услуг (не менее чем двумя способами), с другой – служат базой данных для определения комплекса мероприятий по энергосбережению в организации и ориентировочных затрат на их проведение. Формы по потреблению коммунальных услуг учитывают все основные параметры, закладываемые в договоры на предоставление данного вида услуг. Форму договора на предоставление услуг составляет продавец – поставщик услуг. При этом зачастую обязанности получателя услуги завышены при минимальной ответственность поставщика услуг. Во многом это объясняется недостаточным уровнем подготовки получателя услуг как в техническом, так и в правовом плане.

Параллельно с введением паспортов организаций была проведена паспортизация теплоисточников области (по единой форме – технический паспорт котельной), подготовлен реестр котельного оборудования и тепловых сетей энергоснабжающих предприятий. Полученная информация была положена в основу областной программы реконструкции систем теплоснабжения муниципальных образований, замены котельного оборудования и перевода котельных области на природный газ. Основой паспорта котельной служит информация по техническому вооружению теплоисточника, по видам используемого оборудования. Совокупность данных в паспорте котельной позволяет ориентировочно рассчитать тариф на тепловую энергию, вырабатываемую в этой котельной. Информация о потребителях тепловой энергии, отражаемая в приложениях, наряду с имеющейся информацией по тепловым сетям позволяет в первом приближении оценить эффективность работы теплоисточника и системы теплоснабжения в целом.

Обобщенные данные паспортов организаций и теплоисточников были положены в основу «Энергетического паспорта муниципального обра-

зования». В паспорте муниципального образования отражается баланс производства и потребления топливно-энергетических ресурсов на территории муниципального образования (в абсолютных и удельных показателях). Данные паспорта муниципального образования показывают, насколько руководители владеют вопросами производства и потребления ТЭР на своей территории. Паспорта муниципальных образований отражают эффективность использования топливно-энергетических ресурсов и должны быть положены в основу при разработке территориальной программы энергосбережения.

Данные всех паспортов муниципальных образований отражают состояние коммунальной энергетики всей области, могут быть использованы для формирования областного заказа на производство и потребление коммунальных услуг в бюджетной сфере области, для определения потребностей в производстве энергосберегающего оборудования, материалов и т.п.

Проведенная работа позволила на базе полученного материала определить нормативные потребности в топливно-энергетических ресурсах для каждого муниципального образования в отдельности, установить лимиты потребления ТЭР для бюджетных организаций. Уже на стадии составления энергетических паспортов муниципальных образований удалось на 10 % сократить плановые расходы на топливо в отопительном сезоне 1998/99 г. по сравнению с сезоном 1997/98 г. В дальнейшем приведение энергетического хозяйства к нормативным показателям по затратам на производство-потребление тепловой энергии позволит снизить расходы на топливо еще на 15 – 20 %.

Принципиально эти показатели подтверждаются опытом проведения мероприятий по энергосбережению в муниципальном образовании «город Краснотурьинск», где за счет внедрения приборов учета расхода тепловой энергии и воды в жилищном фонде и на объектах социальной сферы в течение одного года было получено сокращение расходов на тепловую энергию на 15 %, на горячую воду на 20 %. Такие же показатели по экономии

энергоресурсов были получены и на следующий год, но уже за счет проведения работ по гидравлической наладке систем теплоснабжения, устранения утечек воды в тепловых сетях.

Опыт Свердловской области, других регионов России способствовал тому, что Госстандарт РФ ввел в действие с сентября 2000 г. ряд стандартов в области энергосбережения. Основные из них:

– энергетический паспорт промышленного предприятия установленной Госстандартом формы;

– стандарт, определяющий порядок информирования заводами-изготовителями покупателей об удельных параметрах энергопотребления продукцией коммунального и бытового назначения, т.е. начиная с 2000 – 2001 г. на всей бытовой технике (холодильники, телевизоры и др.) должны быть этикетки, содержащие сведения по энергетической эффективности;

– стандарт, определяющий перечень оборудования, выпускаемого отечественными заводами и подлежащего сертификации по показателям энергетической эффективности.

Опыт составления и ведения энергетических паспортов за последние 4 – 5 лет показал их эффективность и целесообразность. Это подтверждается введением новых строительных норм и правил, в которых энергетический паспорт является обязательным при проектировании, строительстве и эксплуатации практически любого здания [39]. Цель данного требования – обеспечить соответствие показателей энергетической эффективности и теплотехнических показателей зданий и сооружений требованиям, установленным для них соответствующими СНиП.

Энергетический паспорт следует заполнять при разработке проектов новых, реконструируемых, капитально ремонтируемых жилых и общественных зданий, при приемке зданий в эксплуатацию, а также в процессе эксплуатации построенных зданий.

Энергетические паспорта для квартир, предназначенных для

раздельного использования в блокированных зданиях, должны базироваться на общем энергетическом паспорте блокированных зданий с общей системой отопления.

Энергетический паспорт здания не предназначен для расчетов за коммунальные услуги, оказываемые квартиросъемщикам и владельцам квартир, а также собственникам здания.

Энергетический паспорт здания заполняется:

а) проектной организацией на стадии разработки проекта и на стадии привязки к условиям конкретной площадки;

б) проектной организацией на стадии сдачи строительного объекта в эксплуатацию на основе анализа отступлений от первоначального проекта, допущенных при строительстве здания. При этом учитываются:

– данные технической документации (исполнительные чертежи, акты на скрытые работы, паспорта, справки, предоставляемые приемочным комиссиям и проч.);

– изменения, вносившиеся в проект и санкционированные (согласованные) отступления от проекта в период строительства;

– итоги текущих и целевых проверок соблюдения теплотехнических характеристик объекта и инженерных систем техническим и авторским надзором.

В случае необходимости (несогласованное отступление от проекта, отсутствие необходимой технической документации, брак) заказчик и инспекция Госархстройнадзора могут потребовать проведения испытания ограждающих конструкций;

в) на стадии эксплуатации строительного объекта – выборочно и после годичной эксплуатации здания. Включение эксплуатируемого здания в список на заполнение энергетического паспорта, анализ заполненного паспорта и принятие решения о необходимых мероприятиях производятся в порядке, определяемом решениями администраций субъектов Российской Федерации.

Энергетический паспорт здания должен содержать (см. разд. 11.3):

– общую информацию о проекте;

– расчетные условия;

– сведения о функциональном назначении и типе здания;

– объемно-планировочные и компоновочные показатели здания;

– расчетные энергетические показатели здания, в том числе показатели энергоэффективности и теплотехнические;

– сведения о сопоставлении с нормируемыми показателями;

– рекомендации по повышению энергетической эффективности здания;

– результаты измерения энергоэффективности и уровня тепловой защиты здания после годичного периода его эксплуатации;

– класс энергетической эффективности здания.

Контроль эксплуатируемых зданий на соответствие настоящим нормам осуществляется путем экспериментального определения основных показателей энергоэффективности и теплотехнических показателей в соответствии с требованиями государственных стандартов и других норм, утвержденных в установленном порядке, на методы испытаний строительных материалов, конструкций и объектов в целом.

При этом на здания, исполнительная документация на строительство которых не сохранилась, энергетические паспорта составляются на основе материалов бюро технической инвентаризации, натурных технических обследований и измерений, выполняемых квалифицированными специалистами, имеющими лицензию на выполнение соответствующих работ.

Ответственность за достоверность данных энергетического паспорта здания несет организация, которая его заполняет.

11.2. Компьютерная версия энергетического паспорта как средство анализа и оптимизации потребления энергоресурсов[1]

К настоящему времени разработано несколько компьютерных версий энергетических паспортов самых различных организаций и объектов.

Разработанная УГТУ-УПИ компьютерная версия энергетического паспорта учебного заведения является программой для формирования базы данных энергетических показателей организации и позволяет на примере информации об энергопотреблении Уральского государственного экономико-энергетического университета составить энергетический паспорт организации любой формы собственности, имеющей типичные для крупного образовательного заведения объекты.

Программа составлена в широко распространенном табличном процессоре Microsoft Excel 97 и структурно оформлена в виде страниц, каждая из которых соответствует определенной форме применяемого в настоящее время энергетического паспорта организации. Тем самым облегчается восприятие компьютерной версии энергетического паспорта для специалистов в сфере энергосбережения, обучающихся на курсах повышения квалификации и имеющих начальный уровень компьютерной подготовки.

Паспорт представляет собой ряд электронных таблиц (форм), рис. 11.1. Каждая из таблиц состоит из ячеек, которые могут содержать текст, числа и формулы. Для изменения информации необходимо выделить соответствующую ячейку и выполнить следующие действия:

– в ячейке находится текст – набрать новый или отредактировать имеющийся;

– в ячейке находится числовой значение – заменить на новое;

– в ячейке находится формула – отредактировать.

[1] Раздел подготовлен В.Ю. Балдиным.

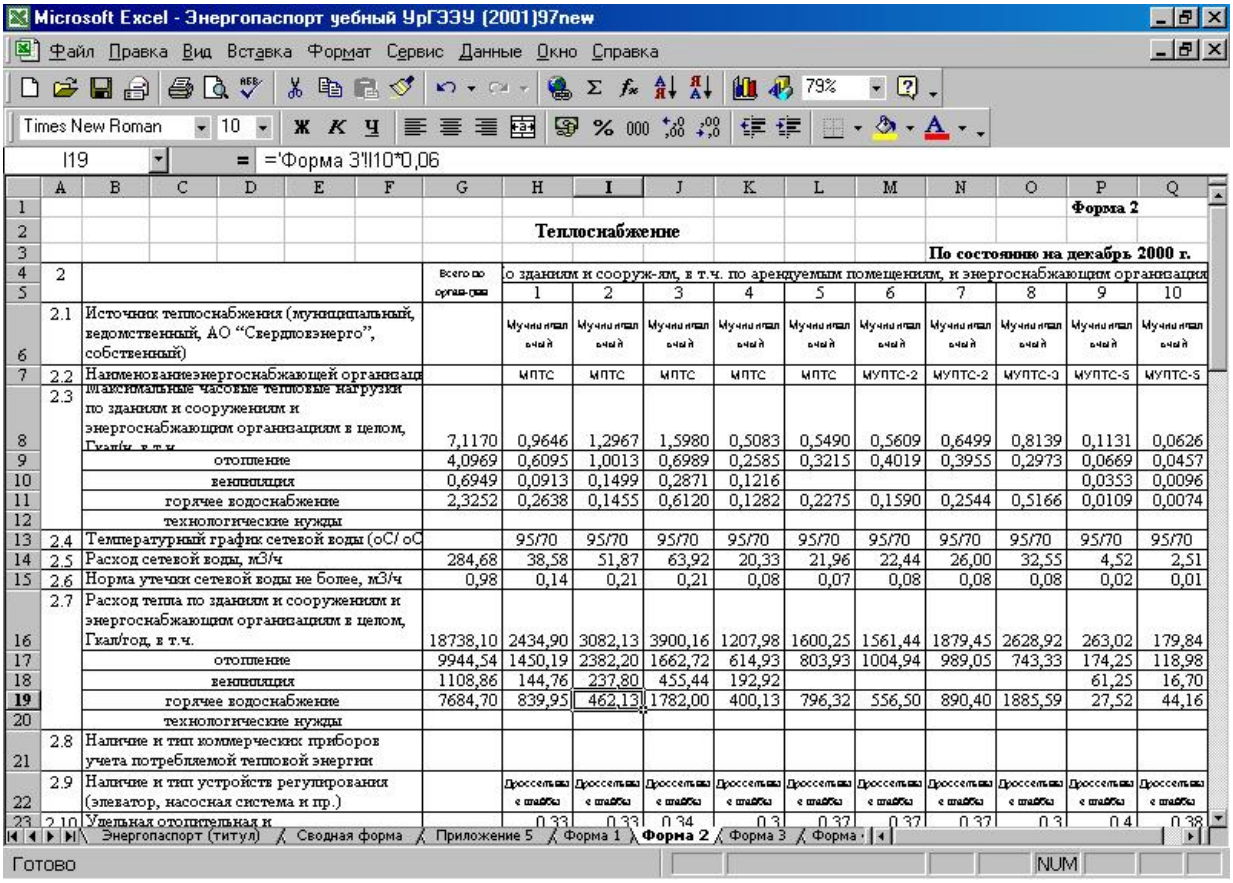


Рис. 11.1. Компьютерный вариант заполнения энергетического паспорта

Особенностью Microsoft Excel является возможность автоматического задания адресов ячеек, что позволяет составлять формулы, создавая ссылки на ячейки с числовыми значениями. Это облегчает пересчет формул, который производится автоматически, если в формулах имеются ссылки на другие ячейки. Например, формула «='Форма 3'!H7+'Форма 4'!H7» означает суммирование значений в ячейках H7 из листа Форма 3 и H7 из листа Форма 4. При создании компьютерной версии формулы были составлены двух видов: редактируемые и нередактируемые. В редактируемых формулах необходимо изменить числовое значение, нередактируемые выражения изменять не рекомендуется.

После заполнения всех форм энергетического паспорта просматриваются имеющиеся графики и диаграммы, которые в предлагаемой редакции будут сформированы автоматически для новых данных (рис. 11. 2). Имеется возможность построить новые или отредактировать имеющиеся диаграммы, изменить их тип и вид.

Заполненный энергетический паспорт организации с графической интерпретацией данных можно распечатать на принтере, переслать для согласования по электронной почте, интегрировать в сводную информационно-аналитическую систему и пр.

Электронная версия значительно облегчает анализ имеющихся сведений, ежегодное заполнение форм, прогнозирование результатов мероприятий по энергосбережению, разработку и моделирование проектов по повышению эффективности использования энергетических ресурсов.

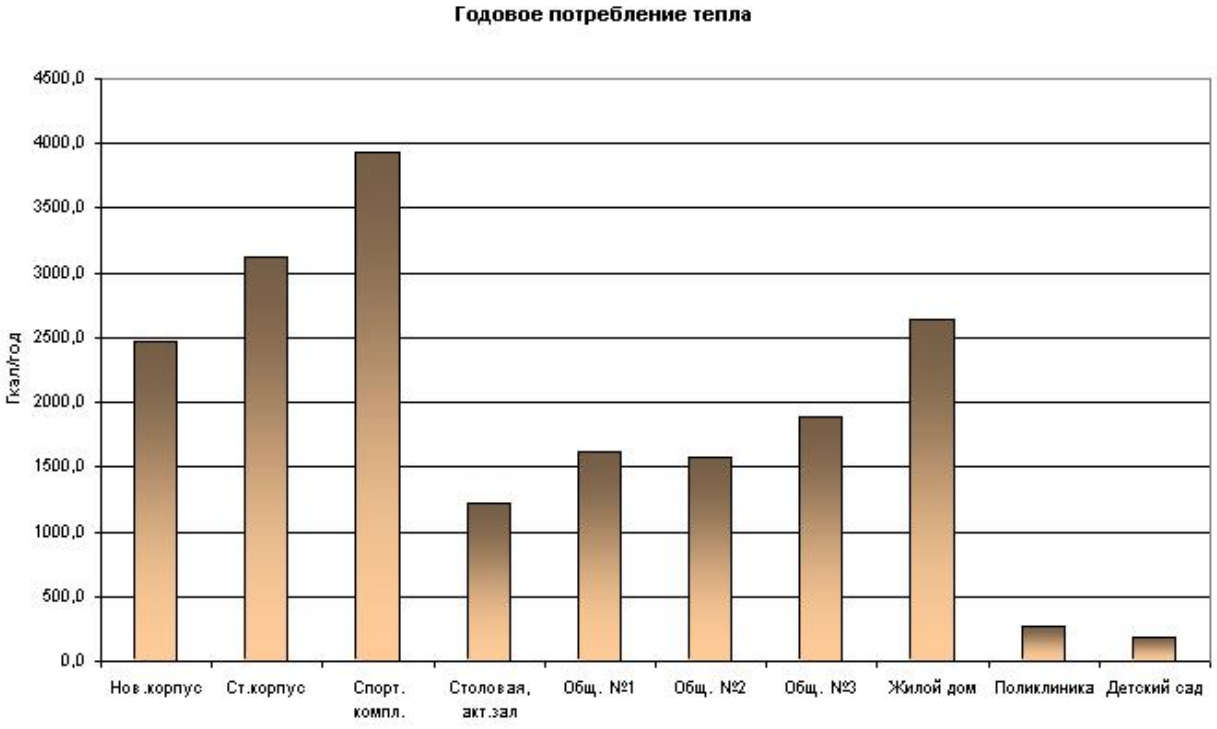


Рис. 11.2. Вариант компьютерного выполнения графиков динамики изменения параметров энергопотребления организации

11.3. Энергетический паспорт здания [2]

Общая информация

Дата заполнения (число, месяц, год)	
Адрес здания Разработчик проекта Адрес и телефон разработчика Шифр проекта	

Расчетные условия

№ п/п	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура внутреннего воздуха	t_{int}	°С	
2	Расчетная температура наружного воздуха	t_{ext}	°С	
3	Расчетная температура теплого чердака	t_c	°С	
4	Расчетная температура техподполья	t_c	°С	
5	Продолжительность отопительного периода	z_{ht}	сут	
6	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t_{ht}	°С	
7	Градусо-сутки отопительного периода	D_d	°С·сут	

Функциональное назначение, тип и конструктивное решение здания

8	Назначение	
9	Размещение в застройке	
10	Тип	
11	Конструктивное решение	

[2] По СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий

Геометрические и теплоэнергетические показатели

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6
	Геометрические показатели				
12	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания	A_e^{sum}, м^2			
	В том числе:				
	стен	A_w, м^2			
	окон и балконных дверей	A_F, м^2			
	витражей	A_F, м^2			
	фонарей	A_F, м^2			
	входных дверей и ворот	A_{ed}, м^2			
	покрытий (совмещенных)	A_c, м^2			
	чердачных перекрытий (холодного чердака)	A_c, м^2			
	перекрытий теплых чердаков	A_c, м^2			
	перекрытий над техподпольями	A_f, м^2			
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	A_f, м^2			
	перекрытий над проездами и под эркерами	A_f, м^2			
	пола по грунту	A_f, м^2			
13	Площадь квартир	A_h, м^2			

14	Полезная площадь (общественных зданий)	A_l, м^2			
15	Площадь жилых помещений	A_l, м^2			
16	Расчетная площадь (общественных зданий)	A_l, м^2			
17	Отапливаемый объем	V_h, м^3			
18	Коэффициент остекленности фасада здания	f			
19	Показатель компактности здания	k_e^{des}			
	Теплоэнергетические показатели				
	Теплотехнические				
20	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений:	R_o^r, м^2·°С/Вт			
	стен	R_w			
	окон и балконных дверей	R_F			
	витражей	R_F			
	фонарей	R_F			
	входных дверей и ворот	R_{ed}			
	покрытий (совмещенных)	R_c			
	чердачных перекрытий (холодных чердаков)	R_c			
	перекрытий теплых чердаков (включая покрытие)	R_c			
	перекрытий над техподпольями	R_f			
	перекрытий над неотапливаемыми подвалами или подпольями	R_f			
	перекрытий над проездами и под эркерами	R_f			
	пола по грунту	R_f			

21	Приведенный коэффициент теплопередачи здания	K_m^{tr}, Вт/(м^2·°С)			
22	Кратность воздухообмена здания за отопительный период Кратность воздухообмена здания при испытании (при 50 Па)	n_a, ч$^{-1}$ $n50$, ч$^{-1}$			
23	Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции	K_m^{inf}, Вт/(м^2·°С)			
24	Общий коэффициент теплопередачи здания	K_m, Вт/(м^2·°С)			
Энергетические					
25	Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период	Q_h, МДж			
26	Удельные бытовые тепловыделения в здании	q_{int}, Вт/м^2			
27	Бытовые теплопоступления в здание за отопительный период	Q_{int}, МДж			
28	Теплопоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период	Q_s, МДж			
29	Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	Q_h^v, МДж			

Коэффициенты

№ п/п	Показатель	Обозначение и единицы измерения	Нормативное значение	Фактическое значение
30	Расчетный коэффициент энергетической эффективности системы централизованного теплоснабжения здания от источника теплоты	ε_0^{des}		
31	Расчетный коэффициент энергетической эффективности поквартирных и автономных	ε_{dec}		

	систем теплоснабжения здания от источника теплоты			
32	Коэффициент эффективности авторегулирования	ζ		
33	Коэффициент учета встречного теплового потока	k		
34	Коэффициент учета дополнительного теплопотребления	β_h		

Комплексные показатели

35	Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания	q_h^{des}, кДж/(м^2·°С·сут) [кДж/(м^3·°С·сут)]		
36	Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания	q_h^{req}, кДж/(м^2·°С·сут) [кДж/(м^3·°С·сут)]		
37	Класс энергетической эффективности			
38	Соответствует ли проект здания нормативному требованию			
39	Дорабатывать ли проект здания			

Указания по повышению энергетической эффективности	
40	Рекомендуем:

41	Паспорт заполнен	
	Организация Адрес и телефон Ответственный исполнитель	

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость введения энергетических паспортов для промышленных и других потребителей топливно-энергетических ресурсов?
2. Какие задачи решаются при ведении энергетических паспортов зданий?
3. Возможности компьютерной версии энергетического паспорта потребителя ТЭР.

12. Светотехника

Экономия электроэнергии в осветительных установках имеет важное значение, так как в России на нужды освещения расходуется до 13 % вырабатываемой электроэнергии. Это и понятно, так как качественное освещение определяет комфортные условия жизнедеятельности, а без искусственного электрического освещения решить эту проблему невозможно. Больше всего электроэнергии расходуется в общественных, административных зданиях, учебных заведениях – до 60 % от общего объема электропотребления. Кроме того, для ряда предприятий машиностроительной специализации организация рационального освещения остается весьма актуальной.

Следовательно, освоение энергоэффективных систем освещения, обеспечение рационального их использования является одним из определяющих направлений в энергосбережении.

12.1. Основные понятия и определения

Осветительным прибором (ОП) называется электротехническое устройство, содержащее источник света (лампу того или иного типа) и светотехническую арматуру и предназначенное для внутреннего или наружного освещения.

Основное назначение арматуры ОП:

- перераспределение и концентрация светового потока лампы (ламп) в необходимых направлениях в пространстве (с помощью отражателей, рассеивателей, преломителей и экранирующих решеток);
- защита глаз от слепящего действия ламп;
- защита лампы от воздействия факторов окружающей среды (пыли, влаги, механических повреждений);

– крепление ламп в ОП и подключение их к источнику питания.

По характеру перераспределения света и назначению ОП делятся на два основные класса: ***светильники и прожекторы.***

Светильник – это ОП, перераспределяющий свет установленных в нем ламп внутри относительно больших телесных углов и предназначенный для освещения достаточно близко расположенных объектов или поверхностей, находящихся на расстояниях, обычно меньших, чем 20-кратный максимальный размер светильника.

В светильниках могут быть установлены одна или несколько ламп. Арматура светильников с газоразрядными источниками света включает в себя кроме светоперераспределяющих элементов еще и аппаратуру и устройства для зажигания и стабилизации режима работы ламп.

Прожектор – ОП, перераспределяющий и концентрирующий световой поток лампы внутри малых телесных углов и предназначенный для освещения удаленных объектов или поверхностей, находящихся на расстояниях, которые в десятки, сотни, а иногда и в тысячи раз превышают размеры светового (выходного) отверстия отражателя. Специальные прожекторы служат для световой сигнализации на больших дистанциях.

12.2. Классификация светильников

Классификация светильников по основному назначению

Светильники внутреннего освещения:

- для производственных помещений (цеха промышленных зданий, мастерские и т.д.);
- помещений общественных зданий (административные бюро, банки, магазины, зрительные залы, музеи, театры, крытые спортивные сооружения и т.д.);
- жилых помещений (дома, гостиницы, отели);

- средств наземного, подземного, воздушного и водного транспорта;
- закрытых подземных выработок полезных ископаемых (рудники, шахты).

Светильники наружного освещения:

- для автострад, улиц, площадей;
- садов, парков и других городских пешеходных зон;
- автотранспортных туннелей, надземных и подземных пешеходных переходов;
- архитектурного освещения зданий и сооружений, памятников и монументов;
- транспортных средств и технологического оборудования.

Светильники для эксплуатации в экстремальных средах:

- под водой;
- в космосе.

Классификация светильников по основной светотехнической функции:

- ***общего освещения*** – ОП, предназначенные для общего («заполняющего») освещения помещения (или открытых пространств);
- ***местного освещения*** – ОП, рассчитанные в основном на направленное освещение рабочих поверхностей и, как правило, максимально приближенные к освещаемому объекту или поверхности;
- ***комбинированного освещения*** – совмещают функции ОП общего и местного освещения, осуществляя их одновременно или раздельно;
- ***экспозиционного освещения*** – ОП, предназначенные для акцентирующего освещения товаров в торговых витринах и залах магазинов, экспонатов в музеях, галереях, на выставках и т.д.;
- ***декоративные*** – ОП, являющиеся в основном декоративными элементами интерьера (или экстерьера), и их осветительная функция с этой точки зрения вторична;

- ***ориентационные*** – ОП, создающие при отключении общего освещения минимальный уровень освещенности, необходимый для визуальной ориентации (например, ночной режим освещения в больничных палатах, освещение путей аварийной эвакуации из помещений); эти ОП обеспечивают также условия, достаточные для идентификации расположения и формы опасных для здоровья человека объектов или препятствий.

Прежде чем перейти к классификации ОП по виду монтажа на месте установки, отметим различие между ***стационарными*** и ***переносными*** светильниками.

Стационарный светильник – это ОП, жестко закрепленный на месте установки, для демонтажа которого требуется применение какого-либо инструмента.

Переносной светильник – нестационарный ОП с автономным источником питания (батареей, аккумулятором) или подсоединяемый к питающей сети кабелем, который отключается (или не отключается) при перемещении прибора.

По ***способу установки*** на месте эксплуатации светильники разделяются на следующие основные группы (рис. 12.1):

- встраиваемые (а);
- потолочные (б);
- подвесные (в);
- настенные (г);
- напольные (д);
- настольные (е);
- венчающие (ж);
- консольные (з);
- ручные.

Встраиваемый ОП стационарно устанавливается в отверстии подвесного потолка, в нише основного перекрытия или стены, внутри техно-

логического оборудования или в объеме предметов корпусной мебели.

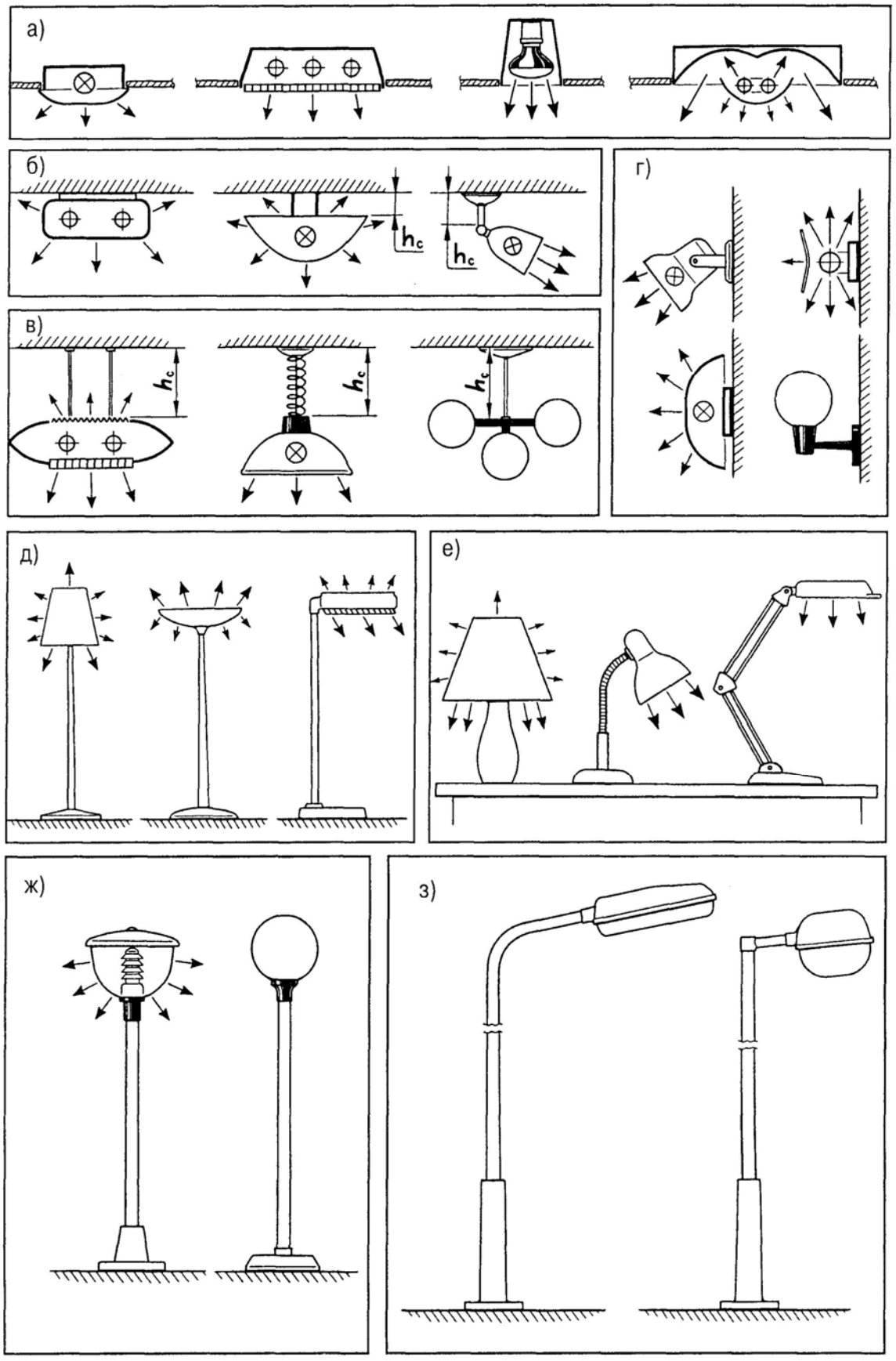


Рис. 12.1. Классификация осветительных приборов по способу монтажа

Потолочный ОП – светильник, стационарно закрепленный непосредственно к опорной поверхности потолка или с помощью узла крепления с $h_c < 100$ мм.

Подвесной светильник (внутреннего освещения) – это ОП, монтируемый на потолке с помощью элементов крепления с $h_c > 100$ мм (металлическая трубка, металлический или полимерный трос или шнур, цепь, кабель и т.д. Многоламповые подвесные светильники для жилого интерьера и парадных помещений общественных зданий называются ***люстрами***. Уличные светильники, закрепляемые на тросах между двумя противостоящими опорами или стенами зданий, также относятся к группе подвесных ОП.

Настенные светильники предназначены для закрепления на вертикальной опорной поверхности (стене, перегородке, колонне).

Настольные светильники устанавливаются на столе, тумбе или другом подобном предмете интерьера, а напольные – на полу помещения.

Венчающий светильник – это наружный ОП, осеметрично закрепленный на вертикальной опоре (светильники для освещения пешеходных зон и садово-парковые ОП).

Консольный светильник – ОП, световой центр которого смещен относительно оси опоры (светильники для освещения автострад, улиц, площадей, закрепляемые к опоре на кронштейне той или иной длины и формы).

Светотехническую классификацию ОП необходимо предварить достаточно подробным разъяснением главных понятий и определений, без которых практически невозможно дальнейшее рассмотрение материала.

Основными функциональными показателями светильников являются: светораспределение, яркостные характеристики, защитные углы, коэффициент полезного действия (КПД), световой поток.

Светораспределение – наиважнейшая функциональная светотехническая характеристика ОП, показывающая, как распределен его световой поток (Ф) в освещаемом пространстве.

Наиболее полно в качественном и количественном выражении распределение светового потока лампы или светильника в пространстве определяется формой фотометрического тела и графически описывается кривыми силы света.

Фотометрическое тело – это замкнутая поверхность, представляющая собой геометрическое место точек – концов радиусов-векторов, выходящих из светового центра лампы (или светильника); *длина этих векторов пропорциональна силе света* I_α в данном направлении (под тем или иным углом к оптической оси ОП). Фотометрическим телом можно охарактеризовать светораспределение как светильника в целом, так и, при необходимости, «голой» лампы, вне арматуры (рис. 12.2).

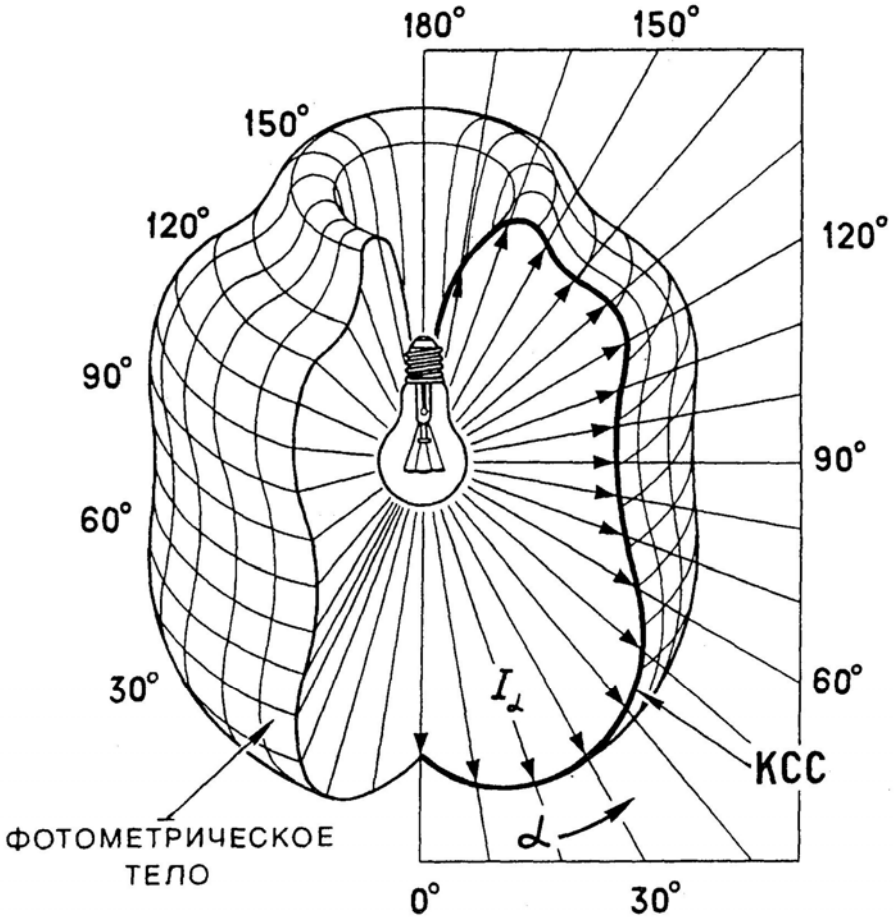


Рис. 12.2. К определению понятий «фотометрическое тело» и «кривая силы света» для источников света и осветительных приборов с круглосимметричным светораспределением

На практике более удобно пользоваться *кривыми силы света (КСС)* - линиями, получаемыми сечением фотометрического тела плоскостями определенного типа:

- ***меридиональные (продольные) плоскости*** проходят через оптическую ось ОП (или лампы);
- ***экваториальные (поперечные) плоскости*** перпендикулярны оптической оси ОП.

Светораспределение светильников общего освещения чаще всего описывается КСС в продольных меридиональных плоскостях. ОП, у которых КСС одинаковы для всех меридиональных плоскостей, называются круглосимметричными.

Для характеристики любого круглосимметричного ОП достаточно одной продольной КСС, так как его фотометрическое тело образуется вращением этой кривой вокруг оптической оси светильника (см. рис. 12.2).

Светораспределением ОП с двумя плоскостями симметрии - светильников с линейными источниками света, например, трубчатыми люминесцентными лампами или двухцокольными галогенными лампами накаливания, обычно описывается КСС в двух основных меридиональных плоскостях, перпендикулярных световому отверстию: одна из них является поперечной, другая - продольной (рис. 12.3, а).

Естественно, что фотометрическое тело подобных светильников имеет значительно более сложную форму, чем у круглосимметричных ОП, и может быть отображено только с помощью компьютерной графики.

На рис. 12.3, б в качестве примера изображены КСС типового однолампового люминесцентного светильника прямого света, используемого для общего освещения помещений общественных зданий. Зеркальная решетка формирует в поперечной плоскости два максимума, симметрично расположенных под углом 30 ° к оптической оси.

Важно отметить, что КСС даны в относительных единицах для светильника с условной лампой, имеющей $\Phi_л = 1000$ лм. Это практикуется

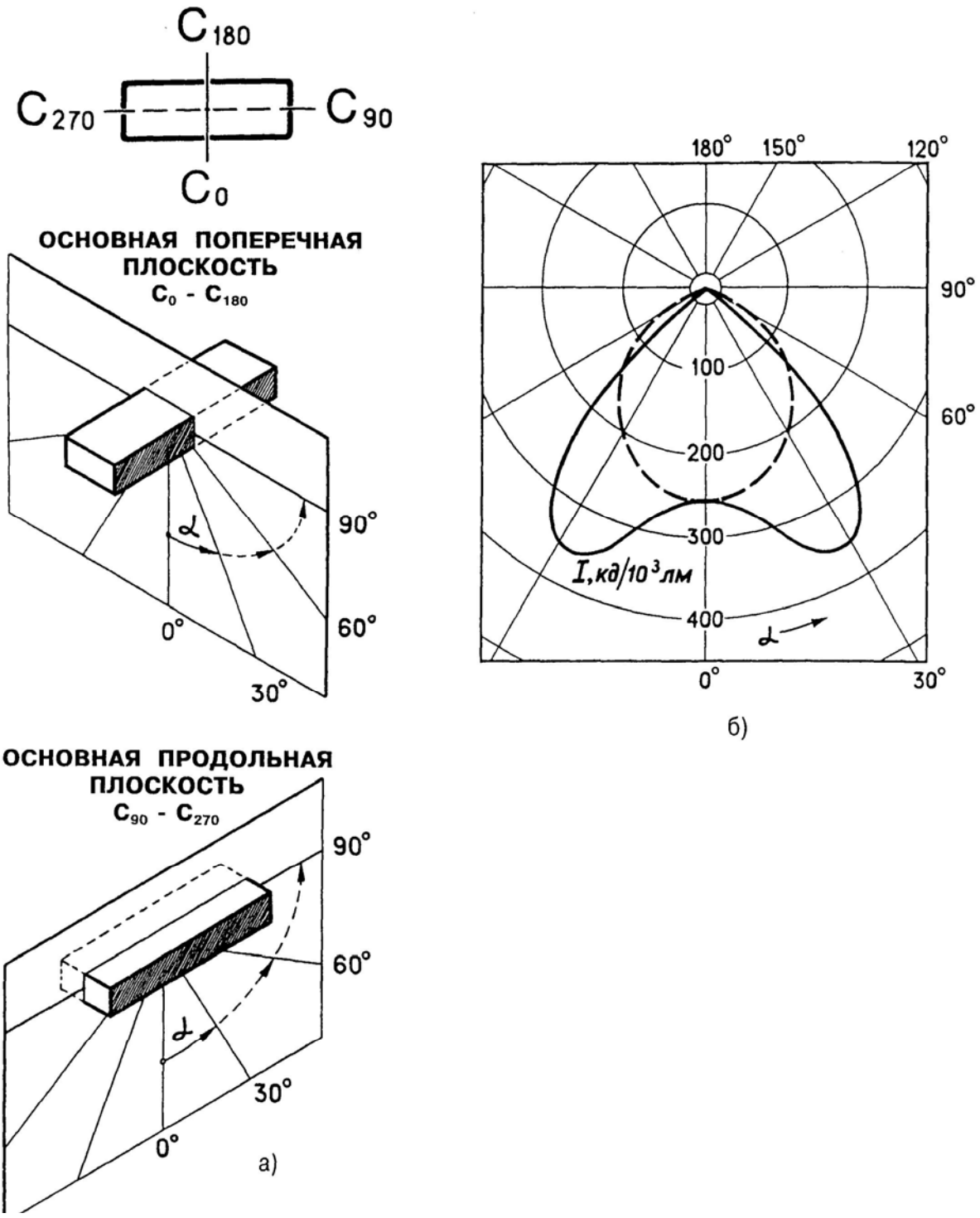


Рис. 12.3. Меридиональные фотометрические плоскости, в которых измеряются кривые силы света (КСС) светильников с ЛЛ и других ОП с линейными источниками света (а);
пример КСС встраиваемого светильника с одной ЛЛ и зеркальной экранирующей решеткой (б):
_____ в поперечной плоскости,
_ _ _ _ в продольной плоскости

обычно во всех каталогах ОП и позволяет легко пересчитать относительные единицы силы света в фактические величины, если известно номинальное значение $\Phi_л$ лампы, устанавливаемой в светильнике с такой КСС.

Например, если используется люминесцентная лампа мощностью 36 Вт с $\Phi_л$ = 2850 лм, то коэффициент пересчета сил света будет равен m = = 2850 : 1000 = 2,85; в случае применения лампы 58 Вт с $\Phi_л$ = 4600 лм соответственно коэффициент m = 4,6.

Из КСС на рис. 12.3, б видно, что осевая сила света составляет $I_0 \approx$ 255 кд/10^3 лм, а максимальная – $I_{30} \approx$ 350 кд/10^3 лм. С учетом изложенных выше пояснений фактические величины этих сил света для светильника 1 х 36 Вт составят: $I_0 = 255 \cdot 2{,}85 = 727$ кд; $I_{30} = 350 \cdot 2{,}85 = 997$ кд.

Аналогично для конкретного типа светильника могут быть определены реальные значения сил света под любыми другими углами α.

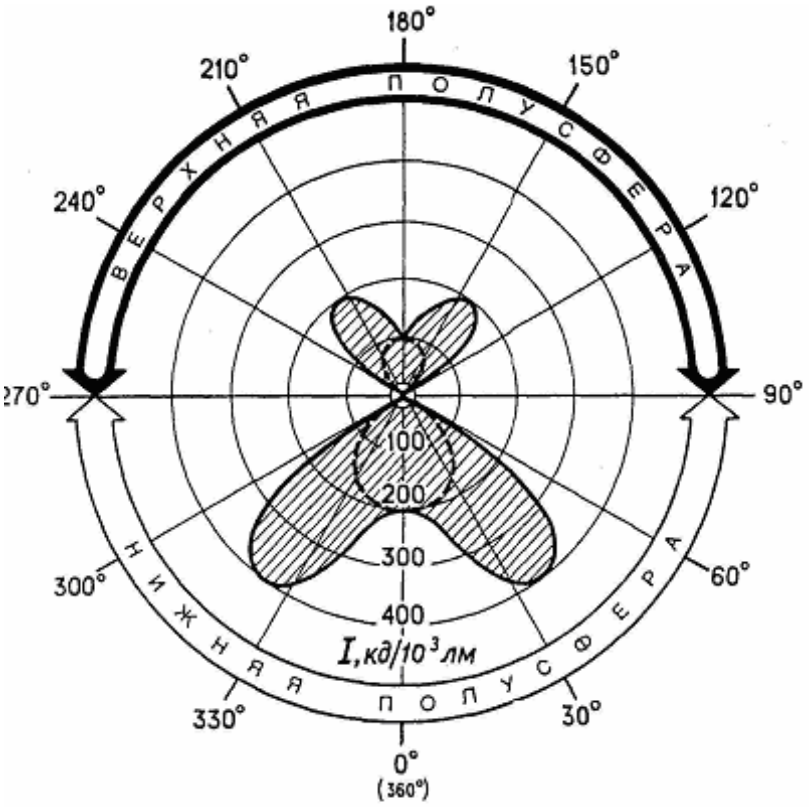
Поясним еще ряд важных понятий (рис. 12.4).

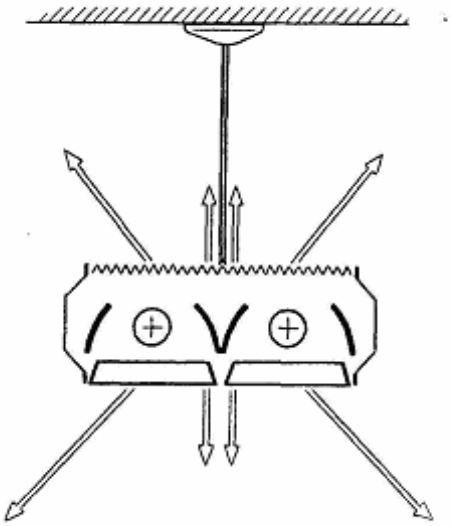
Нижняя полусфера пространства (обозначается символом ⌔) – это часть пространства, лежащая ниже горизонтальной плоскости, проходящей через световой центр ОП.

Верхняя полусфера пространства (⌓) лежит выше горизонтальной плоскости, проходящей через световой центр ОП.

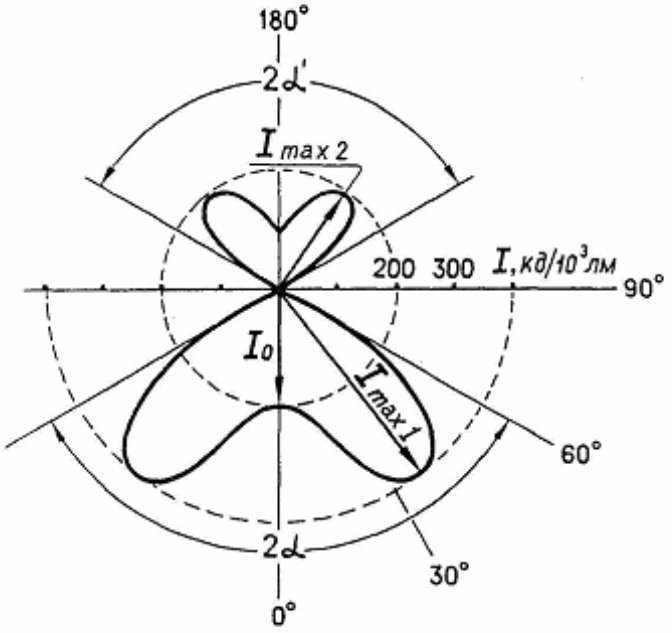
На рис. 12.4 в качестве примера приведена светооптическая схема современного высокоэффективного подвесного двухлампового светильника с ЛЛ мощностью 36 Вт и его КСС в верхней и нижней полусферах в основной поперечной (_____) и продольной (_ _ _) плоскостях. В нижнюю полусферу световой поток ЛЛ ($\Phi_л$) перераспределяется зеркальной экранирующей решеткой, в верхнюю полусферу (на потолок) – плоским призматическим рассеивателем.

В нижнюю полусферу светильник излучает 70 % от всего светового потока ($\Phi_{св}$); КСС в нижней полусфере двухлучевая (полуширокая), что обеспечивает равномерность горизонтальной освещенности на рабочей поверхности, достаточную вертикальную освещенность (так как I_{max1} ориен-





Подвесной светильник для общего освещения административных помещений с двумя ЛЛ по **36 Вт**; **КПД = 0,8**; $\Phi_л$ = **2850 лм**; $2\Phi_л$ = **5700 лм**; $\Phi_{св} = 5700 \cdot 0{,}8 = 4560$ **лм**.
$\Phi_{\frown} = 1370$ лм; $\varphi_{\frown} = \Phi_{\frown}/\Phi_{св} = 0{,}3$.
$\Phi_{\smile} = 3190$ лм.; $\varphi_{\smile} = \Phi_{\smile}/\Phi_{св} = 0{,}7$



I_o – осевая сила света;
I_{max_1} – максимальная сила света в нижней полусфере;
I_{max_2} – максимальная сила света в верхней полусфере;
2α – полный угол излучения в нижней полусфере;
$2\alpha'$ – полный угол излучения в верхней полусфере;

Из КСС для условной ЛЛ с $\Phi_л$ = 1000 лм:
I_o = 200 кд/10^3 лм; I_{max1} = 400 кд/10^3лм;
I_{max2} =200кд/10^3лм.
Фактические значения сил света для $2\Phi_л$ = 5700 лм:
I_o = 200 (5700/1000) = 1140 кд;
I_{max1} = 400-5,7 = 2280 кд;
I_{max1} =200-5,7= 1140кд.

Рис. 12.4. К определению понятий «верхняя и нижняя полусферы пространства», «угол излучения», «осевая, максимальная сила света»

тированы под углом 35° к оптической оси), а также необходимое ограничение слепящего действия.

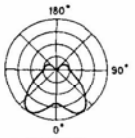
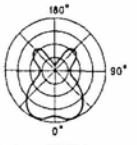
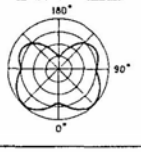
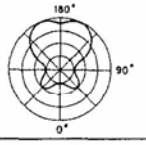
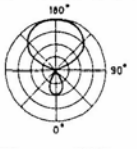
На потолок светильник излучает 30 % от его суммарного светового потока, форма КСС в верхней полусфере исключает резкие перепады яркости на поверхности потолка.

Наряду с рациональной и эффективной формой КСС данный светильник отличается еще и большим КПД (80 %), что достигнуто выходом светового потока ламп в обе полусферы и высоким качеством оптических элементов (зеркальной решетки и призматической панели).

В зависимости от того, как соотносятся световые потоки, излучаемые в верхнюю и нижнюю ($\Phi_{св} = \Phi_{\smile} + \Phi_{\frown}$) полусферы светильники подразделяются на несколько классов (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Классификация светильников по световым потокам

Класс светильника по светораспределению и его обозначение	Доля светового потока, излучаемого в нижнюю полусферу, от суммарного светового потока светильника ($\varphi_{\smile} = \Phi_{\smile}/\Phi_{св}$)	Примеры характерных КСС
Прямого света **(П)**	**> 80%**	
Преимущественно прямого света **(Н)**	**от 60 до 80%**	
Рассеянного света **(Р)**	**от 40 до 60%**	
Преимущественно отраженного света **(В)**	**от 20 до 40%**	
Отраженного света **(О)**	**< 20%**	

Осветительные приборы классов П и Н – это встраиваемые, потолочные (пристраиваемые к потолку без свеса) и некоторые типы подвесных светильников. К классам светораспределения Р, В, О относятся как подвесные, так и ряд типов напольных светильников.

По форме КСС в любой из меридиональных плоскостей в нижней и (или) верхней полусферах светильники подразделяются в соответствии с табл. 12.2 и рис. 12.5.

Таблица 12.2

Классификация светильников по кривым силы света

Тип КСС	Угловые зоны направлений максимума силы света, град	
	Нижняя полусфера	Верхняя полусфера
Концентрированная - К	0 – 15	–
Глубокая - Г	0 – 30	150 – 180
Косинусная - Д	0 – 35	145 – 180
Полуширокая - Л	35 – 55	125 – 145
Широкая - Ш	55 – 85	95 – 125
Равномерная - М	0 – 90	90 – 180
Синусная - С	70 – 90	90 – 110

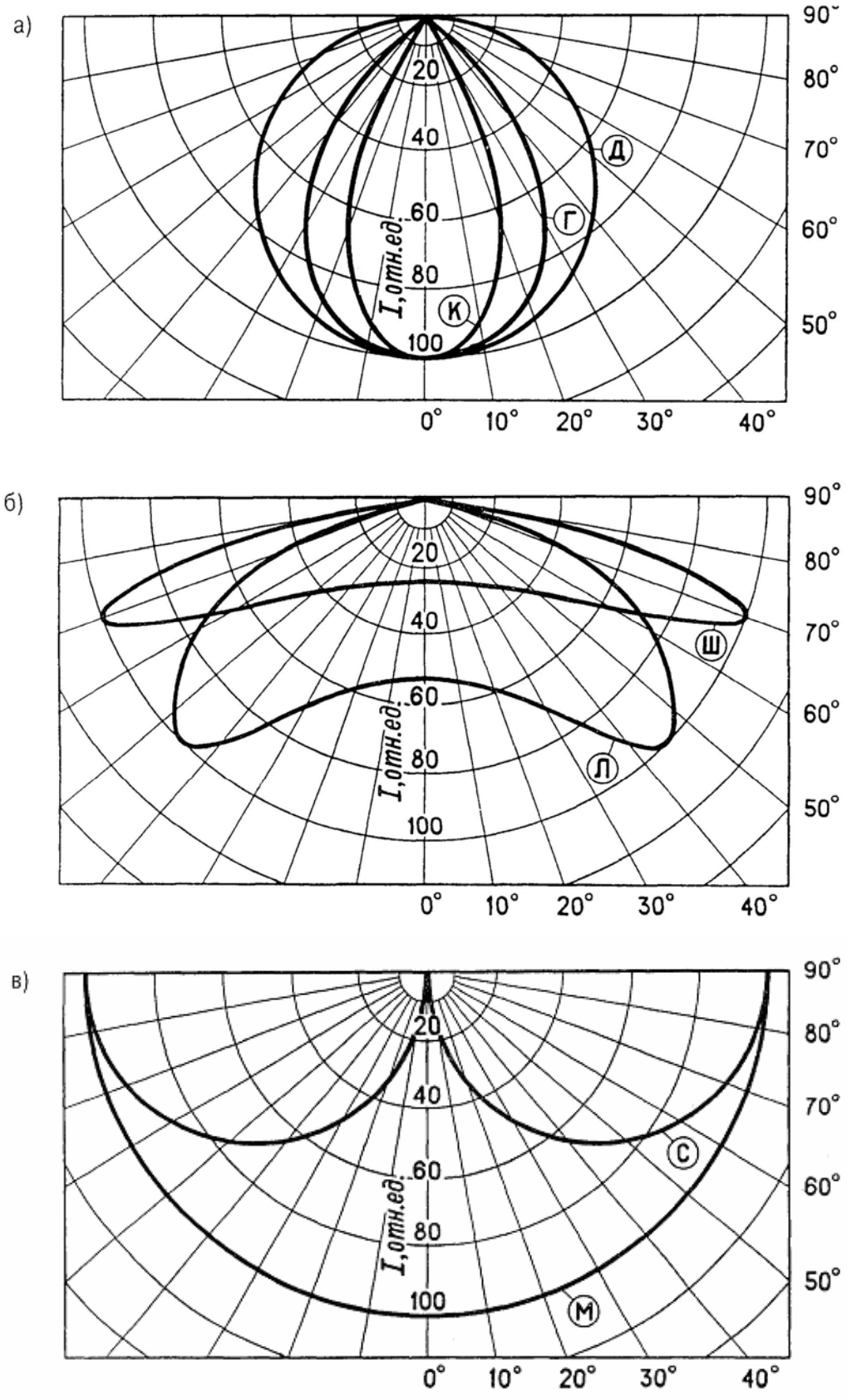


Рис. 12.5. Типовые формы кривых силы света светильников (ГОСТ 17677-82):
а – К - концентрированная; Г - глубокая; Д - косинусная;
б – Ш - широкая; Л - полуширокая; в – М - равномерная; С - синусная

12.3. Некоторые характеристики осветительных приборов

Коэффициент усиления силы света

При оценке ОП, имеющих КСС с явно выраженным максимумом (светильников с зеркальными отражателями, большинства прожекторов), может представлять интерес такая характеристика, как коэффициент усиления $K_у$. Он показывает, во сколько раз увеличивается сила света лампы в данном направлении за счет концентрации светового потока оптическими элементами светильника.

Для светильников с круглосимметричной КСС коэффициент усиления определяется следующим соотношением:

$$K_у = I_\alpha / I_{л\theta} = I_\alpha \cdot 4\pi/\Phi_л,$$

где I_α – сила света ОП под углом α к оптической оси; $I_{л\theta} = \Phi_л/4\pi$ – среднесферическая сила света круглосимметричной лампы (ЛН, ДРЛ и т.д.); $\Phi_л$ – световой поток лампы.

Для ОП с двумя плоскостями симметрии (например, светильников с линейными ЛЛ) коэффициент усиления выражается отношением I_α к силе света лампы (ламп) в этом же направлении α: $K_{у\alpha} = I_\alpha / I_{л\alpha}$.

Чаще всего применяют понятие максимального коэффициента усиления:

$K_{у\ max} = I_{о\ max}\ 4\pi/\Phi_л$ – для круглосимметричных светильников, у которых осевая сила света $I_о$ имеет максимальное значение;

$K_{у\ max} = I_{о\ max} / I_{л\ max}$ – для светильников с двумя плоскостями симметрии.

Защитные углы

Применение открытых (незаэкранированных) источников света любого типа, как правило, недопустимо из-за возникновения слепящего действия, для исключения которого в светильниках внутреннего освещения используются два основных способа:

– применение рассеивателей (опаловых или призматических), снижающих видимую яркость ламп;

– экранировка слепящих частей источников света краями отражателей или решетками в определенных угловых зонах.

Угол, в пределах которого исключена прямая видимость ярких частей ламп (спирали ЛН, трубки ЛЛ, колбы лампы ДРЛ, горелки МГЛ и НЛВД), называется защитным углом светильника (γ).

Понятие защитного угла наглядно разъяснено на рис. 12.6 и 12.7.

Для круглосимметричных светильников с отражателями, имеющими открытое выходное отверстие, защитный угол заключен между горизонталью и линией, касательной к светящему телу лампы и краю отражателя; он

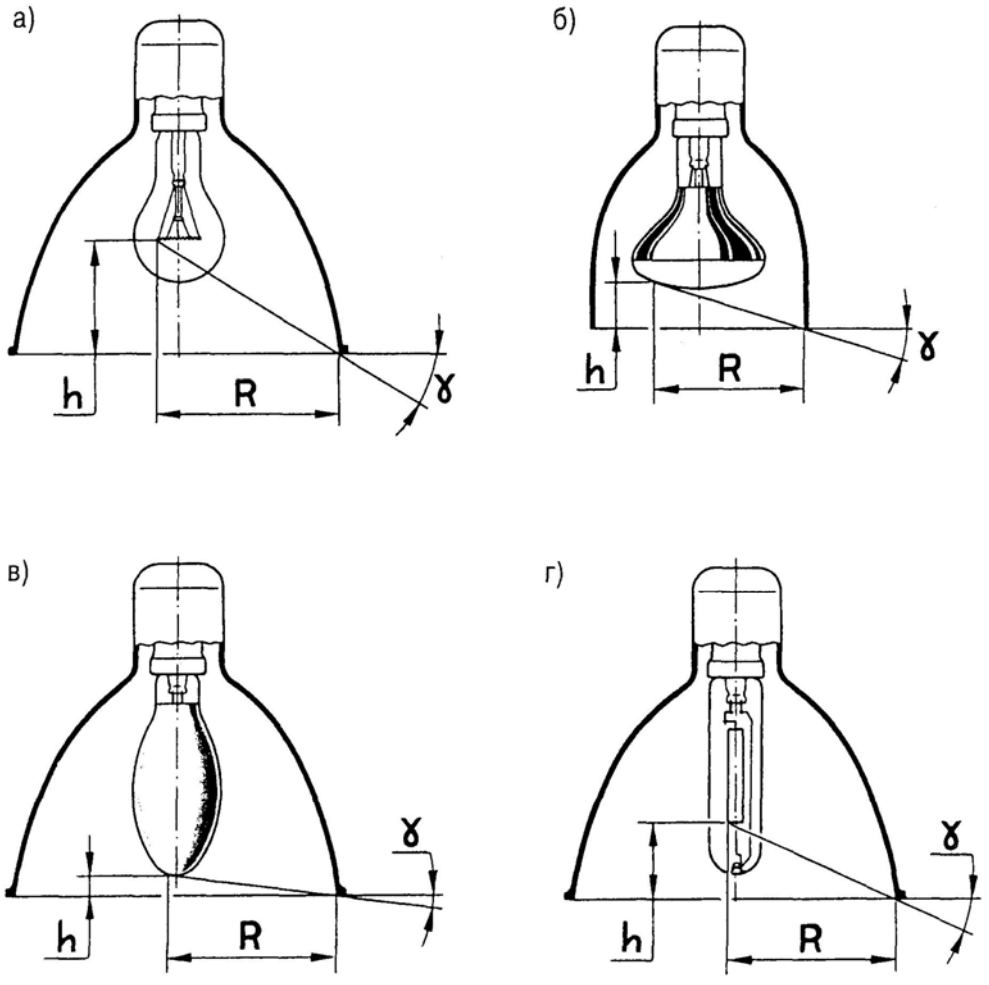


Рис. 12.6. К определению защитного угла круглосимметричных светильников:
а – с ЛН общего назначения; б – с зеркальной ЛН; в – с лампой типа ДРЛ или с натриевой лампой ВД со светорассеивающей внешней колбой;
г – с металлогалогенной или натриевой лампой ВД, горелки которых расположены в бесцветной прозрачной колбе

определяется из следующего соотношения (см. рис. 12.6): $\gamma = \text{arctg}\, h/R$.

У светильников с линейными источниками света (с трубчатыми ЛЛ и компактными 2-канальными ЛЛ типа *TC-L*, *PL-L*, *DULUX L* и т.п.) защитные углы, в отличие от круглосимметричных светильников, различны в разных плоскостях. Так, например, в светильниках с ЛЛ и открытыми отражателями (рис. 12.7, а) защитный угол γ в поперечной плоскости больше защитного угла γ' в продольной плоскости.

Наиболее эффективным способом исключения слепящего действия светильников общего освещения с ЛЛ является применение экранирующих решеток, с помощью которых можно обеспечить практически любые необходимые защитные углы в обеих основных плоскостях (рис. 12.7, б).

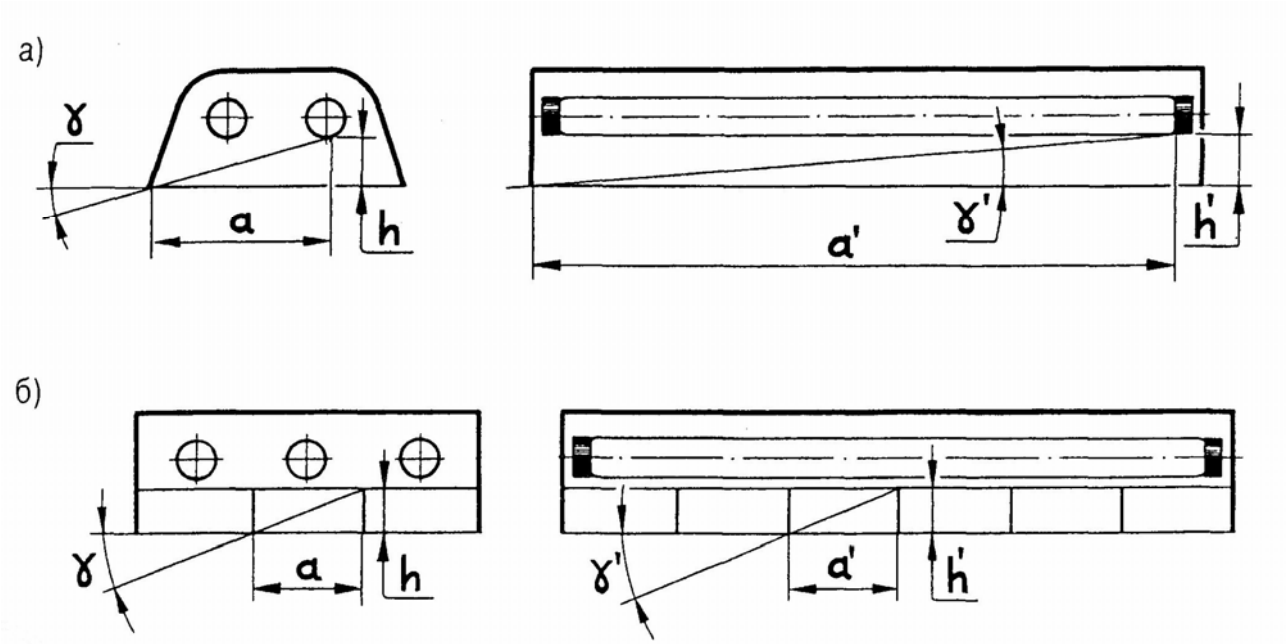


Рис. 12.7 Защитные углы светильников с линейными ЛЛ и другими протяженными источниками света:
а – с отражателем и открытым выходным отверстием; б – с экранирующей решеткой. В поперечной плоскости: $\gamma = \text{arctg}\, h/a$; в продольной плоскости: $\gamma' = \text{arctg}\, h'/a'$

Защитный угол, создаваемый экранирующей решеткой, в общем случае определяется выражением $\gamma = \text{arctg}\, h/a$, где h – высота планок ре-

шетки, a – сторона ячейки решетки.

Величины защитных углов для ОП общего и местного освещения нормируются в зависимости от типа светильника, высоты его размещения, системы освещения и назначения помещения и обычно лежат в пределах $\gamma = 15 – 30°$, в некоторых специальных случаях $\gamma = 45°$.

Для светильников с рассеивателями используется понятие условного защитного угла. Этот угол характеризует зону, в которой яркость лампы (ламп) должна быть уменьшена до допустимых значений с помощью рассеивателей из замутненной или призматической пластмассы или стекла.

Яркостные характеристики

Ограничение яркости L видимых поверхностей светильников – это важный показатель качества освещения, так как именно яркость является той световой величиной, на которую непосредственно реагирует глаз человека. Превышение предписанных нормами и стандартами величин L недопустимо в связи с вероятностью возникновения слепимости.

Чаще всего нормируется значение средней (габаритной) яркости, которая является отношением силы света светильника в направлении, характеризуемом углом α, к площади проекции видимой светлой поверхности светильника s на плоскость, перпендикулярную этому направлению ($L_г = I_\alpha/s_\alpha$). Когда светящая поверхность под определенными углами наблюдения имеет резкие перепады яркости, например у светильников с зеркальными решетками, то необходимо учитывать и максимальные значения яркости L_{max}.

Слепящее действие осветительной установки (ОУ) не остается постоянным при изменении расположения светильников относительно линии зрения работающих. Кроме того, вероятность восприятия ярких зон светильников под различными углами также неодинакова. В связи с этим максимально допустимые значения $L_г$ различны для разных направлений в пространстве.

Ограничение яркости светильников имеет особое значение при ос-

вещении помещений, где выполняются длительные и напряженные зрительные работы (административные и конструкторские бюро, школьные классы, аудитории), а также в ОУ детских и лечебных учреждений. Ограничение яркости чаще всего нормируется в угловой зоне от 60 до 90° (отсчет от вертикали). Предельно допустимые величины яркости светильников при этом (в зависимости от назначения помещения) обычно лежат в пределах: $L_г = (2 – 4)\cdot10^3$ кд/м^2, $L_{max} = (5 – 8)\cdot10^3$ кд/м^2.

В ряде специальных случаев требуется более жесткое ограничение яркости ОП внутреннего освещения, например в помещениях с видеотерминалами (персональными компьютерами, телемониторами). Для исключения мешающих зеркальных отражений в дисплеях яркость потолочных или встраиваемых светильников хотя бы в двух основных плоскостях не должна превышать 200 кд/м^2. Это требование выполнимо в светильниках с ЛЛ только при применении в них зеркальных экранирующих решеток с параболическим профилем продольных и поперечных элементов. Указанная выше предельная величина яркости выходных отверстий светильников нормируется в угловой зоне $\alpha = 60 – 90$ °. Ограничение яркости величиной 200 кд/м^2 гарантирует отсутствие не только отраженной блескости в дисплеях, но и надежно исключает прямое слепящее действие светильников по направлению к линии зрения оператора видеотерминала.

Коэффициент полезного действия

Световой поток $Ф_{св}$, выходящий из светильника, всегда меньше светового потока $Ф_л$ установленной в нем лампы (ламп). Это вызвано неизбежным поглощением света элементами светильника: отражателями, экранирующими решетками, рассеивателями, защитными стеклами, фильтрами. Чем меньше эти потери, тем экономичнее ОП.

Отношение вышедшего из светильника светового потока к номинальному световому потоку установленной в нем лампы (ламп) определяет коэффициент его полезного действия $\eta = Ф_{св}/\Sigma Ф_л \cdot 100$ %.

Для светильников общего освещения помещений необходимо знать,

какая доля $\Phi_л$ излучается в нижнюю (⌔) и верхнюю (⌓) полусферы пространства, поэтому общий КПД иногда разделяется на две составляющие:

$$\eta = \eta_{⌔} + \eta_{⌓},$$

где $\eta_{⌓} = \Phi_{св\,⌓}/\Sigma\Phi_л$, $\eta_{⌔} = \Phi_{св\,⌔}/\Sigma\Phi_л$.

В каталогах зарубежных фирм указываются доли светового потока светильников, направляемые в нижнюю и верхнюю полусферы:

$$\varphi_{⌔} = \Phi_{св\,⌔}/\Phi_{св}; \; \varphi_{⌓} = \Phi_{св\,⌓}/\Phi_{св}.$$

Как известно, световой поток обычных ЛЛ зависит от окружающей лампу температуры $t_{окр}$ и снижается в той или иной степени, если $t_{окр}$ уменьшается или повышается относительно оптимальной (номинальной) температуры окружающего воздуха ($t_н \approx 25°C$). У компактных ЛЛ световой поток зависит как от $t_{окр}$, так и от положения горения. Поэтому светильники с линейными, кольцевыми, *U*-образными и компактными ЛЛ правильнее характеризовать эксплуатационным КПД:

$$\eta_э = \Phi_{св}(t)/\Sigma\Phi_л\,(t_н)\cdot 100\ \%,$$

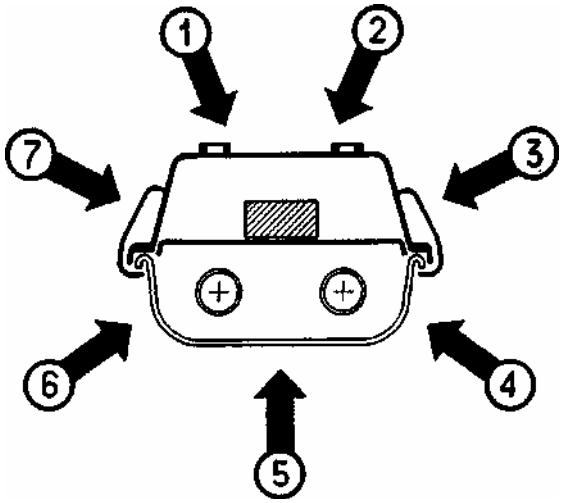
где $\Phi_{св}(t)$ – световой поток, вышедший из светильника при данных условиях эксплуатации ($t_{окр}$ для ЛЛ, для КЛЛ – $t_{окр}$ и положение горения); $\Sigma\Phi_л\,(t_н)$ – световой поток ламп, измеряемый вне светильника при $t_н = 25$ °С; эта величина $\Phi_л$ указывается в каталогах фирм-изготовителей.

Характерные величины эксплуатационных коэффициентов полезного действия ряда типовых конструкций светильников с ЛЛ для освещения помещений приведены ниже:

Тип светильника	η, %
Одноламповый светильник-блок с открытой ЛЛ	90 – 92
Одно- или двухламповый светильник прямого света с белым (диффузным) отражателем (потолочный или подвесной)	72 – 75
Двухламповый потолочный или встроенный светильник с диффузным отражателем и белой окрашенной решеткой	65 – 70
Встроенный (или потолочный) четырехламповый светильник - с опаловым рассеивателем - с призматическим рассеивателем	 50 – 60 60 – 70
Встраиваемый (или потолочный) одноламповый светильник с зеркальной экранирующей решеткой	72 – 75
Подвесной одно- или двухламповый светильник с зеркальной решеткой	

(излучение в нижнюю и верхнюю полусферы пространства)	80 – 85

Внешние факторы, влияющие на надежность, работоспособность и срок службы осветительных приборов:



1) температура окружающего воздуха, 2) напряжение и частота тока питающей сети, 3) пыль и другие построение тела, химически агрессивные и взрывоопасные жидкости и газы, 4) влажность воздушной среды, 5) вибрационные и ударные нагрузки, 6) УФ-излучение источника света и естественный УФ, 7) механические воздействия на узлы уплотнения при обслуживании (пластическая деформация пластмасс, старение прокладок и т.д.).

Основными функциональными показателями, определяющими эксплуатационную надежность осветительного прибора как электротехнического изделия, являются следующие виды безопасности:

– ***электрическая*** (защита пользователя или обслуживающего персонала от поражения током, от проникновения в объем светильника или прожектора воды, пыли и любых посторонних тел);

– ***пожарная*** (ограничение нагрева осветительного прибора до температуры, не вызывающей возгорания материалов опорных поверхностей, а также пыли или волокон, осевших снаружи на корпус);

– ***взрывобезопасность*** (защита от воспламенения или взрыва окру-

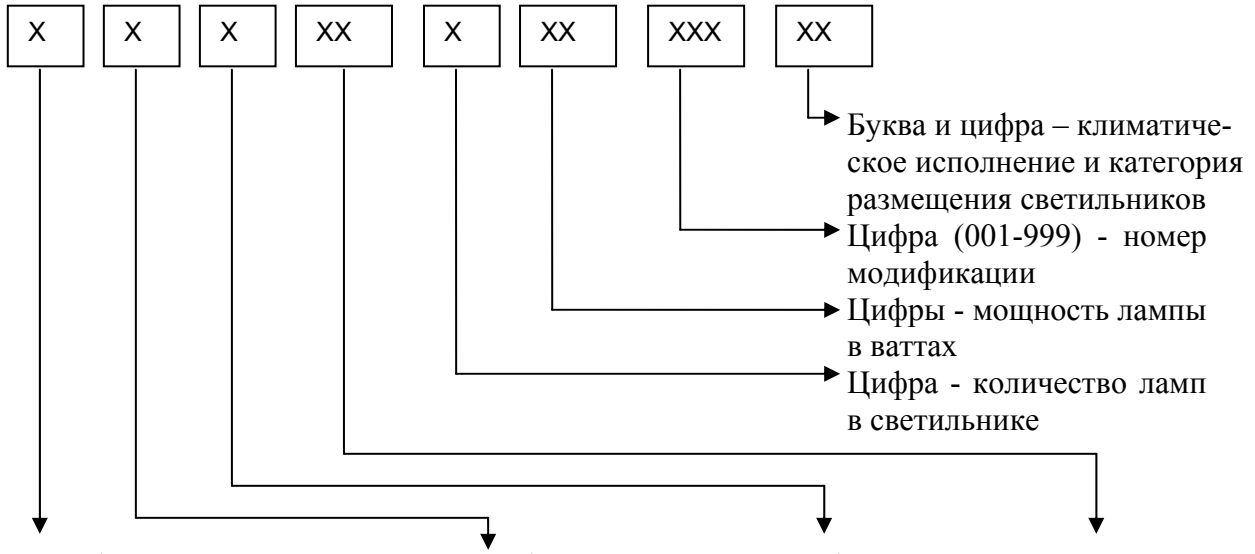
жающей осветительный прибор взрывоопасной смеси).

12.4. Система условных обозначений типов осветительных приборов

Каждый зарубежный изготовитель осветительных приборов присваивает свои собственные торговые марки или фирменные обозначения типам светильников и прожекторов. Единой международной системы кодов ОП не существует.

В нашей стране действует стандартизированная система восьмиразрядных буквенно-цифровых обозначений типов светильников, регламентируемая ГОСТ 17677–82 и обязательная для всех отечественных производителей ОП.

Структура условных обозначений светильников



Буква, обозначающая ТИП ЛАМПЫ:
Н – накаливания общего назначения
С – лампы-светильники (с внутренним зеркальным или диффузным слоем)
И – галогенные лампы накаливания
Л – люминесцентные линейные
Ф – люминесцентные фигурные
Р – ртутные (типа ДРЛ)
Г – металлогалогенные
Ж – натриевые высокого давления

Буква, обозначающая СПОСОБ УСТАНОВКИ СВЕТИЛЬНИКА:
С – подвесной
П – потолочный
В – встраиваемый
Д – пристраиваемый
Б – настенный
Н – настольный
Т – напольный, венчающий
К – консольный, торцовый
Р – ручной

Буква, обозначающая ОСНОВНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ СВЕТИЛЬНИКА:
П – для производственных помещений
О – для общественных зданий
Б – для бытовых (жилых) помещений
У – для наружного освещения
Р – для рудников и шахт
Т – для теле- и ки-

Двузначное число (01 – 99) – номер серии

К – ксеноновые трубчатые ностудий
Б – бактерицидные
Э – эритемные

Примеры обозначений типов ОП по ГОСТ 17677–82

НСБ13-4х60-028-УХЛ4 – подвесной светильник с четырьмя ЛН мощностью по 60 Вт для жилых помещений

СВ002-100-03-0 – встраиваемый в подвесной потолок светильник с одной зеркальной ЛН мощностью 100 Вт для общественных зданий

ЛП001-2хЗб-07-УХЛ4 – потолочный светильник с двумя ЛЛ мощностью по 36 Вт для общественных зданий

ФС002-22+32-01-УХЛ4 – подвесной светильник с двумя кольцевыми ЛЛ мощностью 22 и 32 Вт для общественных зданий

ГПП01-250-03-УЗ – потолочный светильник с одной металлогалогенной лампой (ДРИ) 250 Вт для производственных помещений

РСП02-400-01-УХЛ4 – подвесной светильник с одной ртутной лампой типа ДРЛ мощностью 400 Вт для производственных помещений

ЖКУ04-150-02-ХЛ1 – консольный уличный светильник с натриевой лампой ВД (ДНаТ) мощностью 150 Вт

ЛТУ01-2х11-03-У1 – венчающий уличный светильник с двумя компактными ЛЛ по 11 Вт

ИТТ04-2х1000-01-0 – напольный (на штативе) светильник с двумя галогенными ЛН по 1 кВт для телестудий

НРРОЗ-25-05-ХЛ5 – ручной рудничный светильник с ЛН мощностью 25 Вт (переносной, для шахтеров)

12.5. Основные принципы хорошего внутреннего освещения

Критерии качества световой среды помещений

В зависимости от типа помещения и вида деятельности в нем требования к оптимальному освещению различны: зрительная работоспособность, зрительный комфорт и визуальное окружение могут проявляться в этих требованиях как совместно, так и по отдельности в различных соотношениях (рис. 12.8).



Рис. 12.8. Семь компонентов хорошего освещения – три критерия оптимальной световой среды

• ***Зрительная работоспособность*** – определяет возможности нашего органа зрения быстро и достоверно различать яркость, цвет и форму различных объектов среды обитания человека (предметов быта, печатного текста, объектов трудовой деятельности, произведений искусства и т.д.).

• ***Зрительный комфорт*** – это благоприятные, без помех для зрения условия восприятия окружающей среды при данных параметрах освещения.

• ***Визуальное окружение*** – обеспечивается адекватным восприятием предметов обстановки и помещения в целом.

Каждый из этих трех критериев в той или иной степени определяется влиянием семи основных факторов рационального освещения:

• Достаточный ***уровень освещенности*** гарантирует надежное восприятие объектов различения в поле зрения.

• ***Ограничение слепимости*** снижает нагрузку на зрение как от прямой, так и от отраженной блёскости.

• ***Благоприятное распределение яркости*** поверхностей в поле зрения уменьшает утомление органа зрения при длительной работе.

• ***Цветовой оттенок света*** определяется спектральным составом и цветовой температурой излучения ламп.

• ***Правильная цветопередача*** ламп обеспечивает достоверное восприятие цвета объектов окружающей обстановки и определяется спектром излучения.

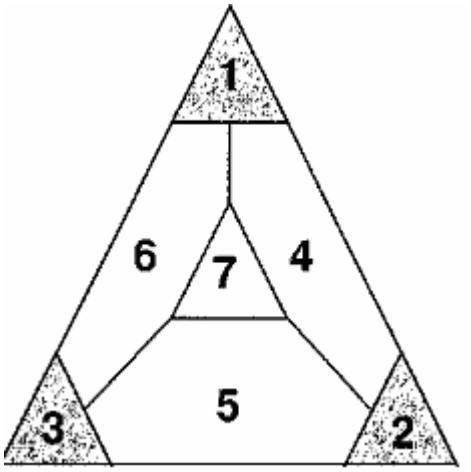
• Выявлению пластики форм предметов и свойств их поверхностей способствуют как соответствующее ***направление падения светового потока***, так и ***тенеобразующие свойства освещения***.

Необходимый уровень *зрительной работоспособности* достигается освещенностью, соответствующей визуальной задаче, снижением прямой слепимости и отраженной блёскости.

Зрительный комфорт обеспечивают благоприятное распределение яркостей поверхностей в поле зрения и качество цветопередачи используемых ламп.

На *визуальное окружение* оказывают влияние цвет излучения источников освещения, светотеневые контрасты (рис. 12.9).

Зрительная работоспособность
- уровень освещенности
- ограничение слепимости



Визуальное окружение
- цвет излучения
- направление света
- тенеобразование

Зрительный комфорт
- цветопередача
- благоприятное распределение яркости

Рис. 12.9. «Треугольник приоритетов» для оптимизации решений внутреннего освещения помещений

Требования к характеристикам освещения, обеспечивающим необходимую степень зрительной работоспособности и комфорта, регламентируются светотехническими нормами. Для формирования необходимого визуального окружения в интерьере бывают нужны такие дополнения, как направленное освещение картин, скульптур, групп декоративных растений, выделение светом архитектурных деталей, совмещение с естественным светом, стилевое единство светильников и оформления интерьера.

«Треугольник приоритетов» содержит 7 зон (см. рис. 12.9), позволяющих выделить главные требования к освещению самых различных по назначению помещений и охватить практически все возможные «осветительные ситуации» в интерьерах.

Зона 1 – помещения, деятельность человека в которых требует высокого уровня зрительной работоспособности, например, конст-

рукторские бюро, рабочие места с персональными компьютерами, кассовыми аппаратами, зоны визуального контроля продукции и т.д.

Зона 2 – помещения, где важен повышенный зрительный комфорт, например, конференц-залы, комнаты для переговоров и т.д.

Зона 3 – доминирующая роль визуального окружения, например, в репрезентативных интерьерах (холлы, вестибюли, фойе, театры, «бутики» и др.).

Зона 4 – одновременно высокие требования к зрительной работоспособности и зрительному комфорту: административные бюро, супермаркеты, больничные палаты, спортзалы.

Зона 5 – зрительный комфорт совмещается с благоприятным визуальным окружением (торговые залы магазинов, рестораны, отели, жилые комнаты).

Зона 6 – по уровню требований к качеству освещения в той или иной степени объединяет зоны 1 и 3 (операционные залы банков, страховые компании, специализированные магазины по продаже ювелирных изделий).

Зона 7 – область, где все три критерия оценки качества световой среды примерно равнозначны: секретариат владельцев фирм и крупных компаний, музеи и другие помещения, где визуальный имидж интерьера так же важен, как комфортные зрительные условия.

Таким образом, «треугольник приоритетов» позволяет однозначно оценить исходную ситуацию для того, чтобы облегчить дизайнеру поиск и реализацию оптимального варианта освещения.

Освещение и трудовая деятельность человека

Роль зрительной информации в жизни и трудовой деятельности людей очень велика. Более 80 % всей информации об окружающем мире че-

ловек получает через свой орган зрения – глаз. Переработка этой визуальной информации в организме требует достаточно больших энергетических затрат: для беспрепятственного видения – зрительного процесса необходимо около 25 % нейронального запаса энергии организма.

Для того чтобы исключить какие-либо объективные помехи для решения той или иной зрительной задачи (будь то ручная прецизионная сборка точных изделий, ремонт автомобиля, работа с персональной ЭВМ, восприятие произведений живописи в музее или игра в хоккей) и сделать условия видения комфортными, без напряжения и утомления глаз, необходимо обеспечить соблюдение научно обоснованных светотехнических норм.

Если подобные нормативы при проектировании и эксплуатации осветительных установок не выполняются, то организм вынужден расходовать немалую часть запаса жизненных сил на преодоление последствий «плохого освещения».

Таким образом, залогом беспрепятственного зрения является «хорошее освещение», под которым понимается, прежде всего, соблюдение светотехнических норм в части обеспечения необходимых количественных и качественных показателей осветительных установок.

Быстрота, легкость и безопасность, с которыми мы ориентируемся, перемещаемся в окружающей нас среде и выполняем ту или иную работу, в значительной мере зависят от качества освещения.

Многочисленными исследованиями в разных странах убедительно доказано положительное влияние улучшения условий освещения на психофизиологическое состояние работающих и повышение производственных показателей.

Профессиональная модернизация «плохого» освещения (повышение уровней освещенности, ограничение слепящего действия и т.д.), как правило, приводит:

– к повышению мотивации и производительности труда;

– меньшему утомлению работающих;

– снижению дефектов в работе (процента брака);

– уменьшению травматизма.

Эта тенденция наглядно подтверждается на четырех приводимых ниже графиках, отражающих статистически обобщенные данные исследований, причем для простоты в качестве критерия – меры улучшения осветительных условий выбран ***уровень освещенности*** (*E*, люкс) в рабочей зоне. При исследованиях учитывались и другие показатели, характеризующие «хорошее освещение».

Улучшение зрительных условий с ростом *E* приводит к росту производительности труда и тем больше, чем сложнее выполняемая на данном рабочем месте зрительная задача (рис. 12.10, 12.11).

Большое влияние увеличение *E* оказывает на психическое состояние работающего человека. Субъективные ощущения, сопровождающие работу в «светлом» помещении, способствуют концентрации, собранности и повышенной трудовой отдаче (рис. 12.12, 12.13).

Положительное влияние условий освещения не исчерпывается четырьмя рассмотренными факторами. Осветительные установки, выполненные с соблюдением норм, способствует также более тщательному соблюдению правил производственной санитарии и гигиены и улучшению климата труда в целом.

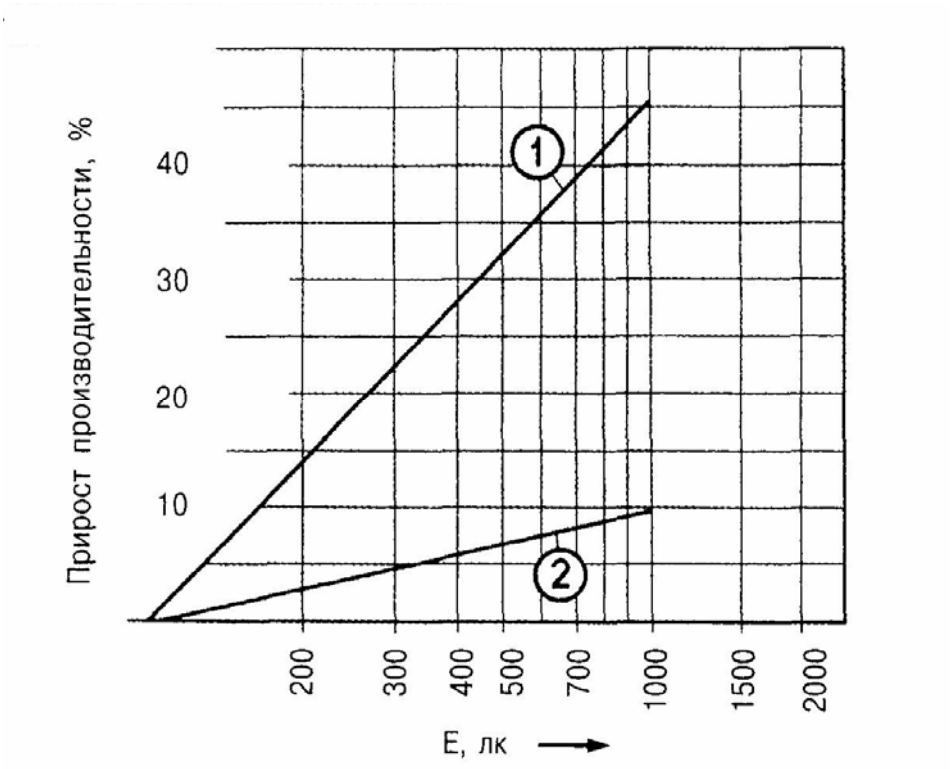


Рис. 12.10. Зависимость увеличения производительности труда от повышения уровня освещенности для зрительных работ:
1– высокой сложности;
2– простых

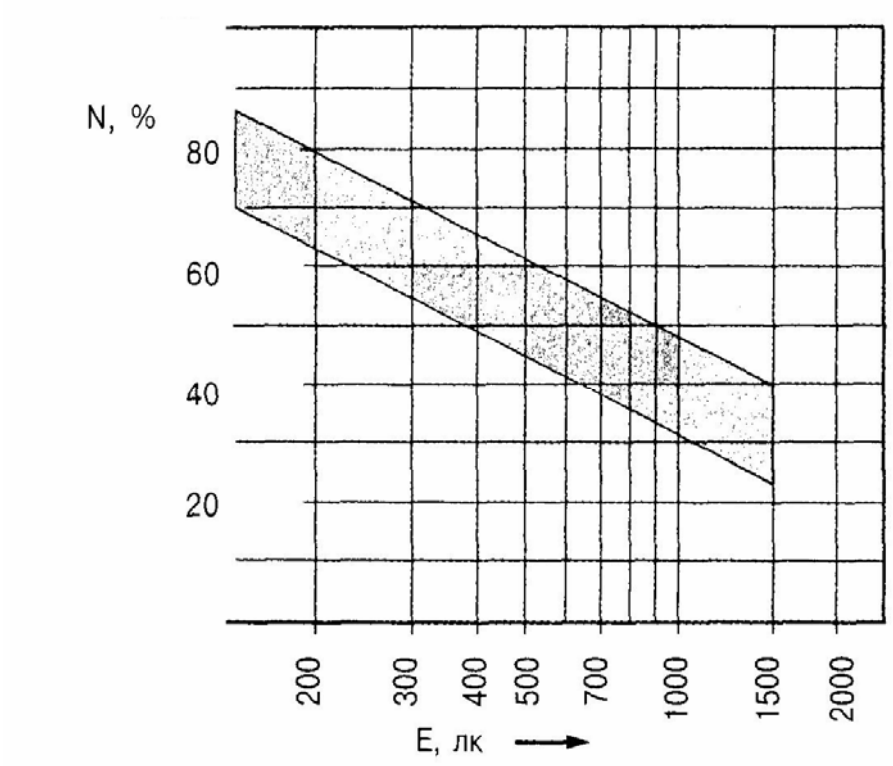


Рис. 12.11. Влияние повышения освещенности на снижение относительного утомления (*N* – процентная доля работающих, чувствующих утомление при данном уровне *E*)

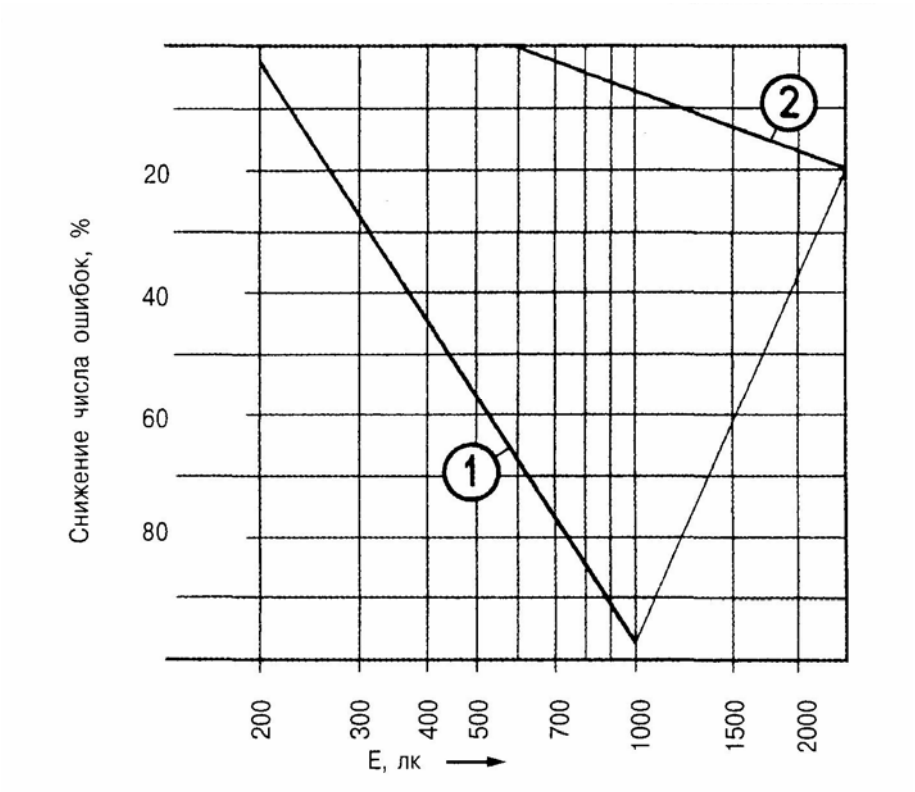


Рис. 12.12. Влияние повышения освещенности на сокращение брака для зрительных задач: 1 – высокой сложности (исходный уровень E = 200 лк); 2 –простых (сходный уровень E = 600 лк)

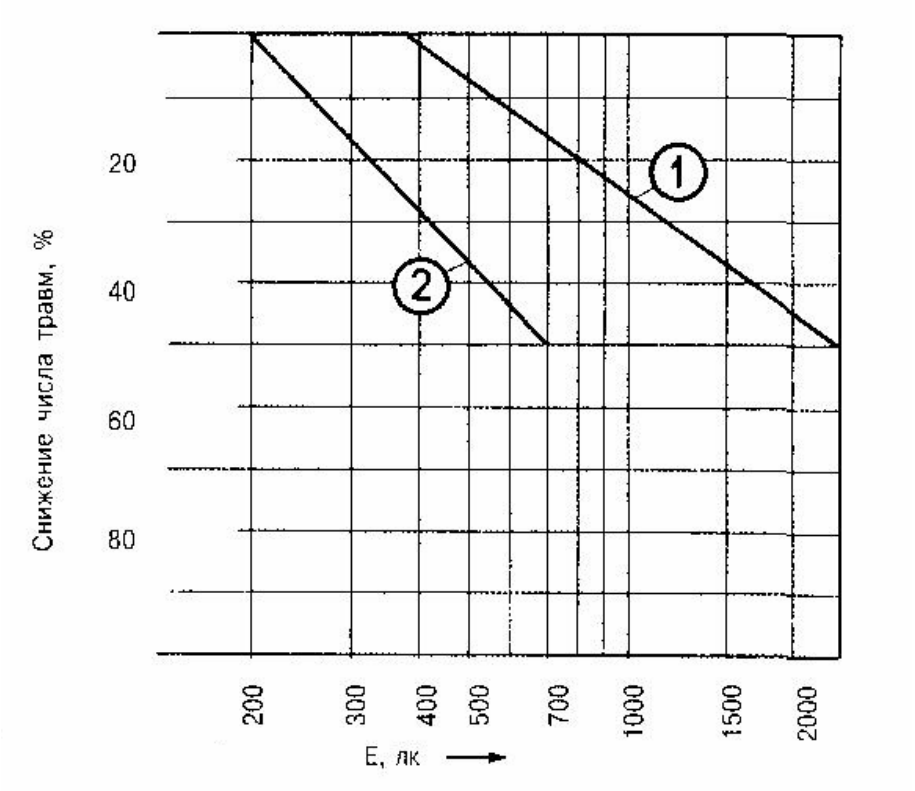


Рис. 12.13. Зависимость уменьшения производственного травматизма от повышения освещенности для зрительных работ: 1 – высокой сложности (исходный уровень E = 400 лк); 2 – простых (исходный уровень E = 200 лк)

12.6. Экономика и энергоэффективность внутреннего освещения

Как рассчитать расходы на освещение?

Общие годовые расходы на осветительную установку (ОУ) помещения (здания) складываются из капитальных и эксплуатационных затрат и могут быть оценены по следующей обобщенной формуле [40]:

$$Q = N \cdot \left[\frac{\frac{c_1}{100} \cdot C_1 + \frac{c_2}{100} \cdot C_2}{n} + t \cdot a \cdot P + t \cdot \frac{C_3}{\tau} + (t \cdot \frac{C_4}{\tau} + \frac{R}{n}) \right],$$

где Q – суммарные годовые расходы на освещение;

N – общее число ламп во всех светильниках ОУ;

n – количество ламп в одном светильнике;

C_1 – цена светильника;

c_1 – уплата процентов, амортизация, % (для C_1);

C_2 – стоимость монтажа светильника, кабелей и электроустановочных устройств;

c_2 – уплата процентов, амортизация, % (для C_2);

t – время годовой наработки ОУ, ч;

a – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии;

P – мощность, потребляемая лампой вместе с ПРА (в одном светильнике);

τ – полезный срок службы лампы, ч;

C_3 – цена лампы;

C_4 – стоимость замены одной лампы;

R – расходы на чистку одного светильника (в год).

С помощью этой формулы можно наглядно сопоставить различные варианты освещения при проектировании новых и реконструкции старых ОУ помещений.

Суммарные расходы на освещение Q снижаются прямо пропорционально уменьшению общего количества ламп N и ощутимо сокращаются при снижении мощности P, потребляемой лампой в комплекте с пускорегулирующей аппаратурой (ПРА).

То, что расходы на освещение могут быть сегодня реально снижены, доказывает улучшение характеристик ламп, ПРА, светильников и светорегулирующих систем, достигнутое в последние годы:

- повышение светоотдачи источников света (η_v, лм/Вт), главным образом у ЛЛ;
- увеличение КПД светильников общего освещения;
- снижение мощности активных потерь в ПРА для ЛЛ;
- использование систем управления, автоматически регулирующих световой поток ЛЛ (освещенность в помещении) в зависимости от интенсивности естественного света.

Совместное применение более совершенных современных светотехнических средств с перечисленными преимуществами открывает широкие возможности как для сокращения энергопотребления, так и для повышения качества освещения.

Данные рис. 12.14 показывают, насколько энергоэкономичнее ЛЛ диаметром 26 мм с новыми «трехполосными» люминофорами по сравнению с ЛЛ «старого поколения» диаметром 38 мм на стандартных (галофосфатных) люминофорах. Лампы с 3-полосным спектром отличаются от стандартных ЛЛ не только увеличенной световой отдачей (η_v, лм/Вт), но и значительно улучшенной цветопередачей. Экономичность ЛЛ еще более увеличивается в схемах включения с электронными ПРА (ЭПРА).

На рис. 12.15 и 12.16 наглядно проиллюстрировано влияние мощности потерь в ПРА на энергоэкономичность светильников с ЛЛ. Если стандартный (обычный) электромагнитный ПРА потребляет примерно 20 – 22 % от мощности включаемой с ним ЛЛ, то у ПРА с пониженными потерями эта доля снижается до 15 %, а у ЭПРА – до 10 %.

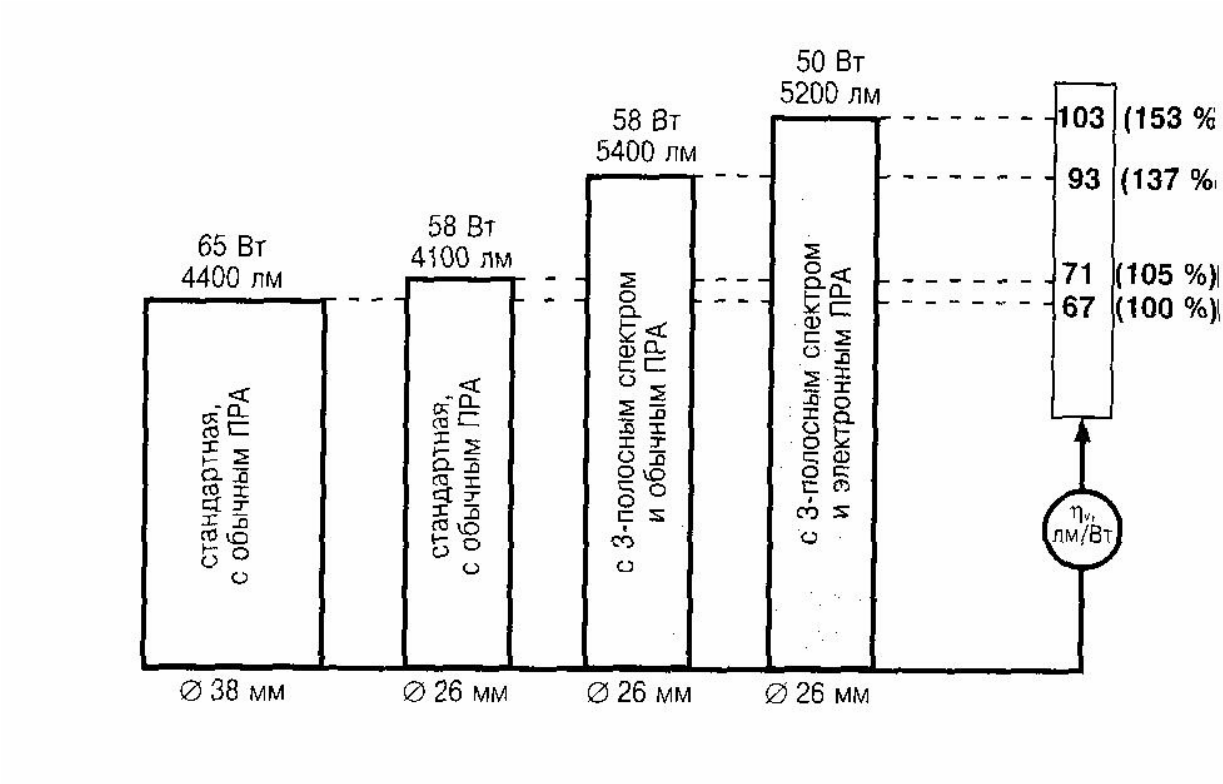


Рис. 12.14. Сравнение световой отдачи линейных ЛЛ (1500 мм) со стандартными и трехполюсными люминофорами при работе с обычными (электромагнитными) и электронными ПРА

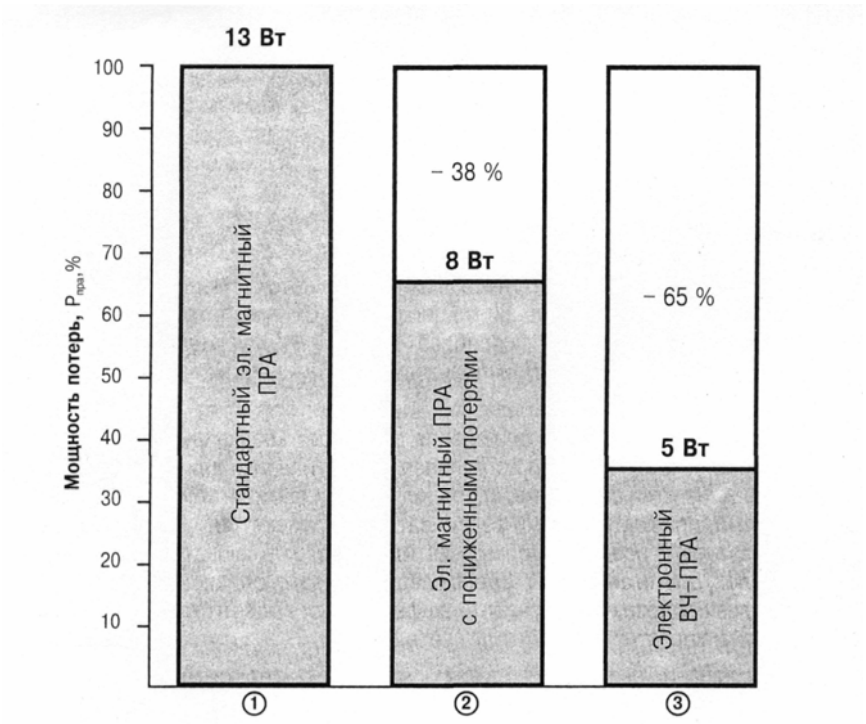


Рис. 12.15. Сравнение мощности, потребляемой различными типами ПРА в одноламповой схеме с ЛЛ ($P_{ЛЛ}$ = 58 Вт)
$P_{ПРА}/P_{ЛЛ}$, %: 1 – 20; 2 – 15; 3 – 10

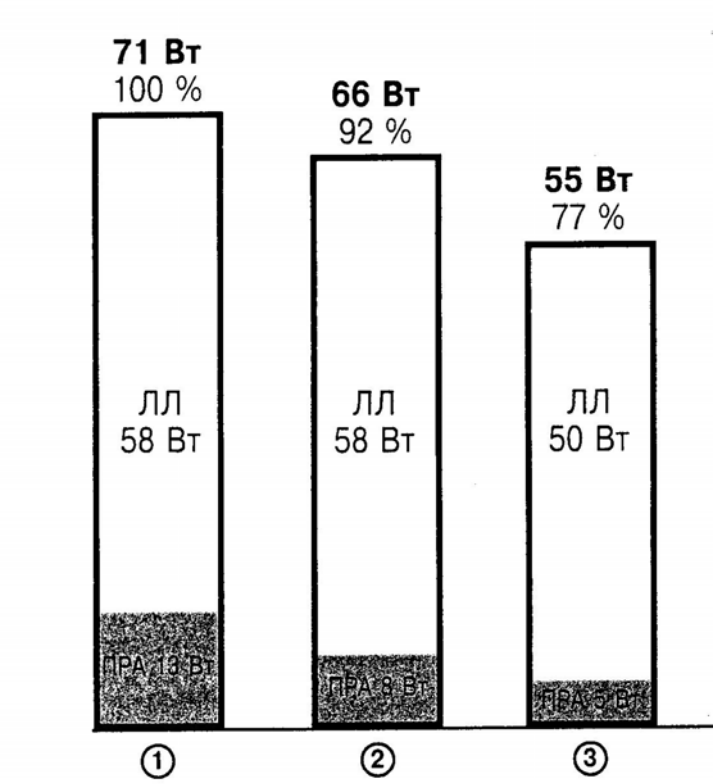


Рис. 12.16. Суммарная мощность (ЛЛ+ПРА), потребляемая светильником 1х58 Вт: 1 – с обычным стандартным ПРА; 2 – с обычным ПРА с пониженными потерями; 3 – с электронным ВЧ-ПРА

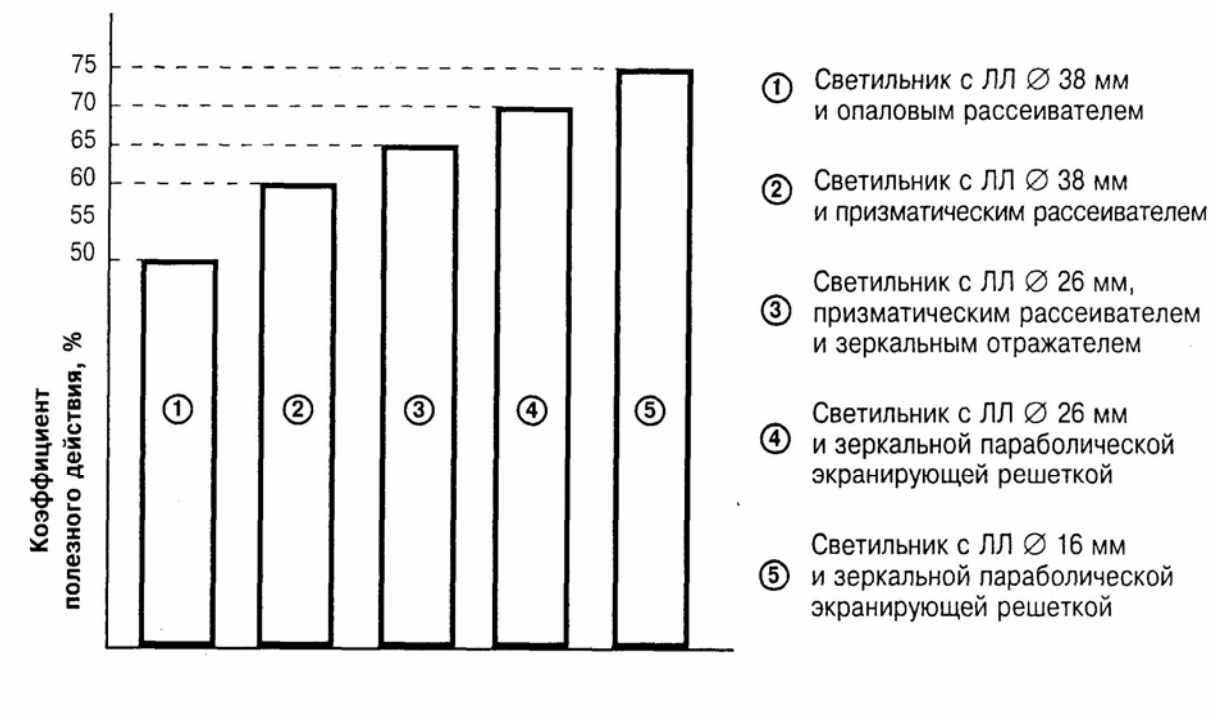
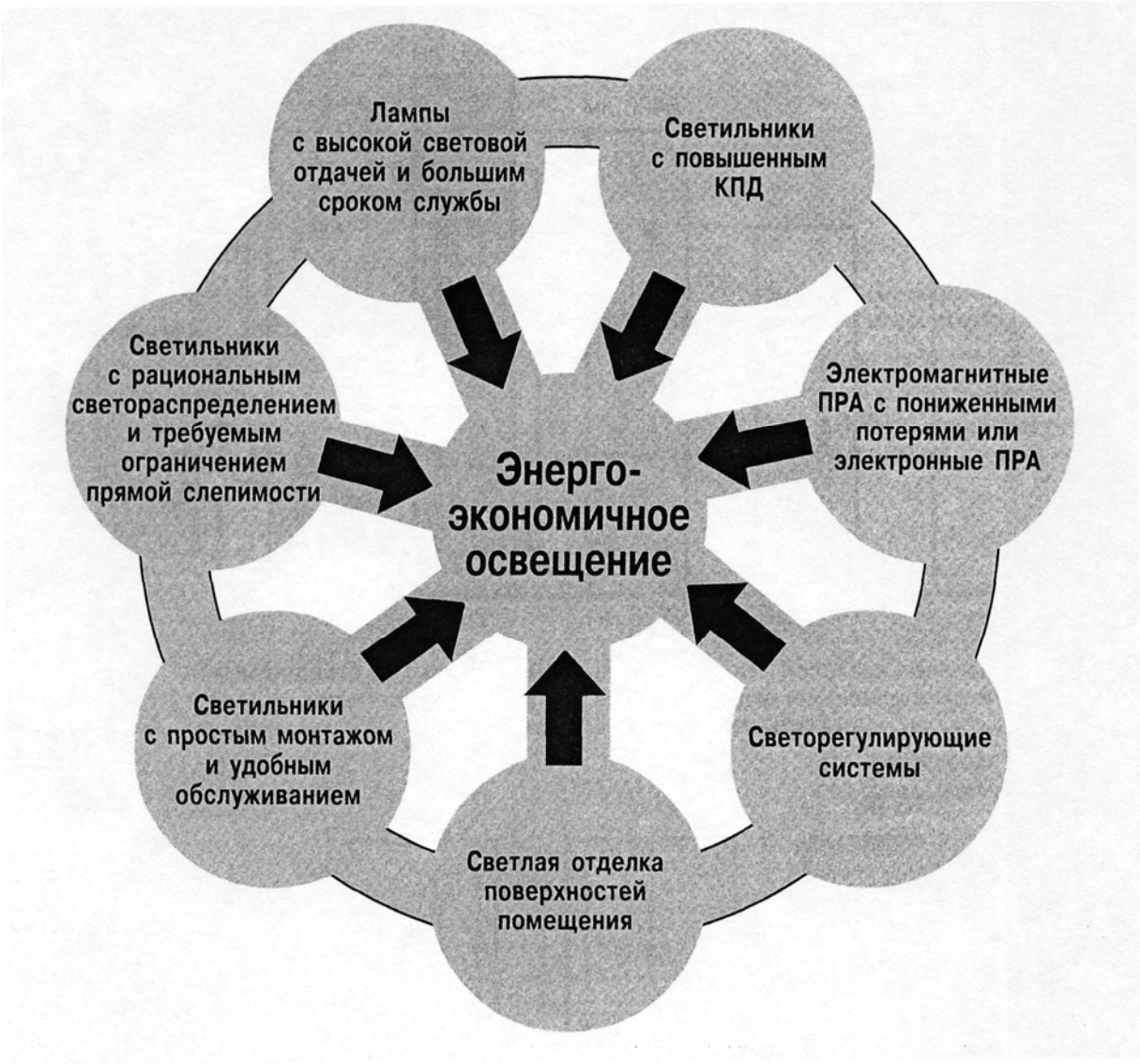


Рис. 12.17. Влияние оптических элементов на КПД встраиваемых светильников прямого света с ЛЛ

Что обеспечивает энергоэффективность осветительной установки?



Следует напомнить, что при работе с ЭПРА несколько уменьшается и мощность, потребляемая ЛЛ. Поэтому, например, ЛЛ номинальной мощностью 58 Вт (при питании на частоте 50 Гц), включенная с высокочастотным ЭПРА, потребляет всего 50 Вт. Как видно из рис. 12.16 (на примере однолампового светильника 1х58 Вт), использование ЭПРА дает экономию электроэнергии около 23 %.

Значительное влияние на экономичность освещения оказывает коэффициент полезного действия светильников (рис. 12.17). Современные

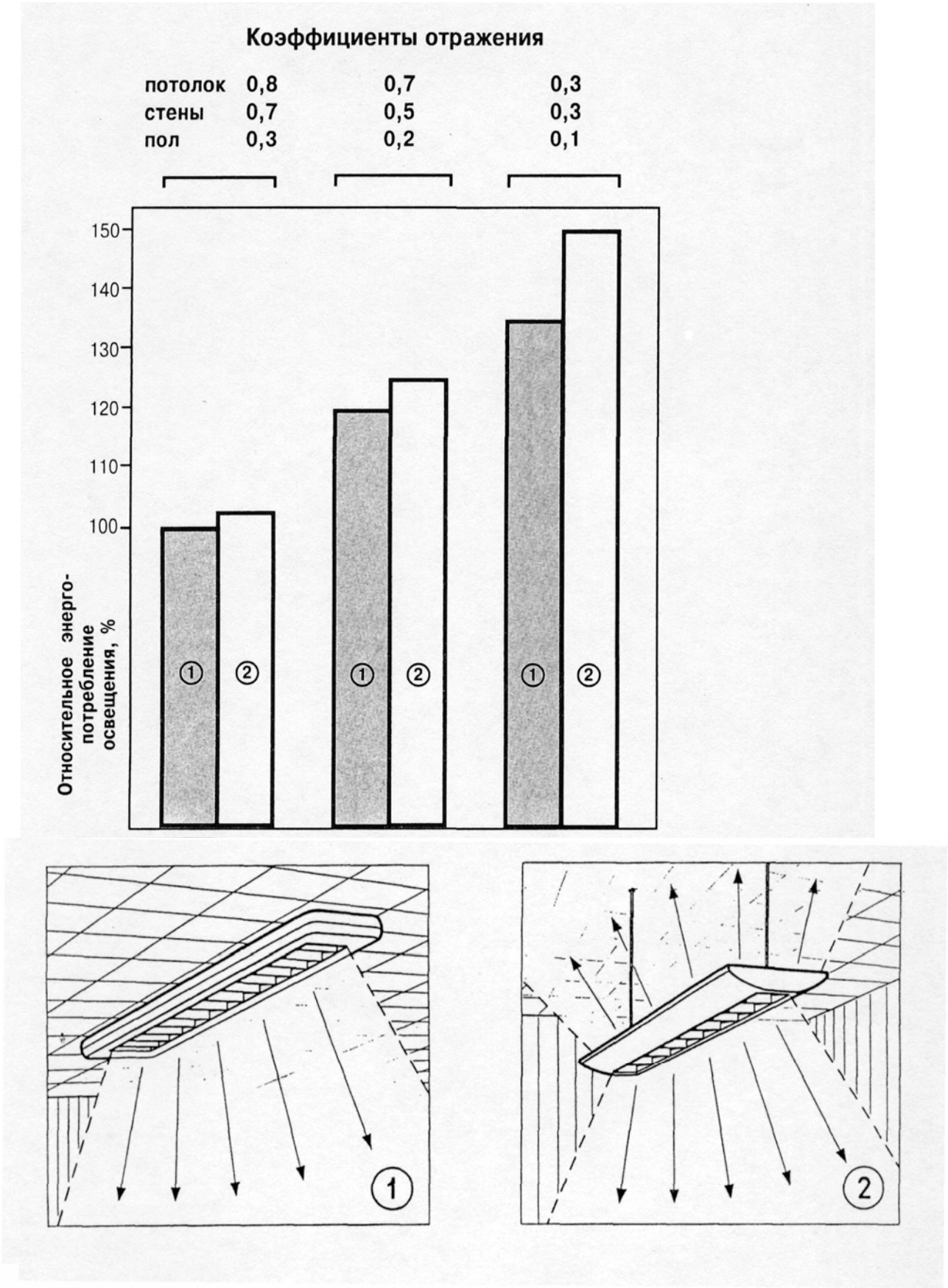


Рис. 12.18. Влияние коэффициентов отражения поверхностей помещения на энергоэффективность осветительной установки: 1 – светильники прямого света; 2 – светильники, излучающие в обе полусферы пространства

встраиваемые светильники для общественных зданий, снабженные эффективными светоперераспределяющими элементами (зеркальными решетками и отражателями, призматическими рассеивателями) имеют обычно КПД, превышающий 70 %, а этот показатель у новых подвесных светильников, излучающих как в нижнюю полусферу, так и на потолок, превышает 80 %. Здесь следует указать, однако, что по величине КПД светильников нельзя однозначно оценивать эффективность осветительной установки, необходимо учитывать и характер кривой силы света (КСС).

Еще один резерв в сокращении энергопотребления освещением – повышение светлоты отделки поверхностей помещения, естественно, в разумных и доступных пределах. Как видно из рис. 12.18, в помещении с темными стенами, потолком и полом для достижения заданной освещенности может потребоваться на 35 – 50 % больше мощности освещения, чем в светлом помещении с высокими коэффициентами отражения поверхностей.

О возможных мерах модернизации старых осветительных установок

Практика показывает, что большинство осветительных установок с ЛЛ в помещениях промышленных и общественных зданий, оборудованных в 70 – 80-х гг., технически и морально устарели (рис. 12.19, 12.20); обозначения: ЛН – лампы накаливания общего назначения; ГЛН – галогенные ЛН на напряжение 220 – 230 В; ЛЛ – линейные люминесцентные лампы; КЛЛ – компактные ЛЛ со встроенным ЭПРА; ДРЛ – ртутные лампы высокого давления с люминофором; МГЛ – металлогалогенные лампы; НЛВД – натриевые лампы высокого давления; НЛНД – натриевые лампы низкого давления.

В этих ОУ применяются ЛЛ «старого поколения» (диаметром 38 мм) и низкоэффективные: светильники, снабженные опаловыми рассеивателями, диффузными отражателями или окрашенными белой эмалью решетка-

ми. Иногда в производственных помещениях встречаются даже светильники с «голыми» ЛЛ. Все старые светильники, как правило, укомплектованы неэкономичными электромагнитными ПРА.

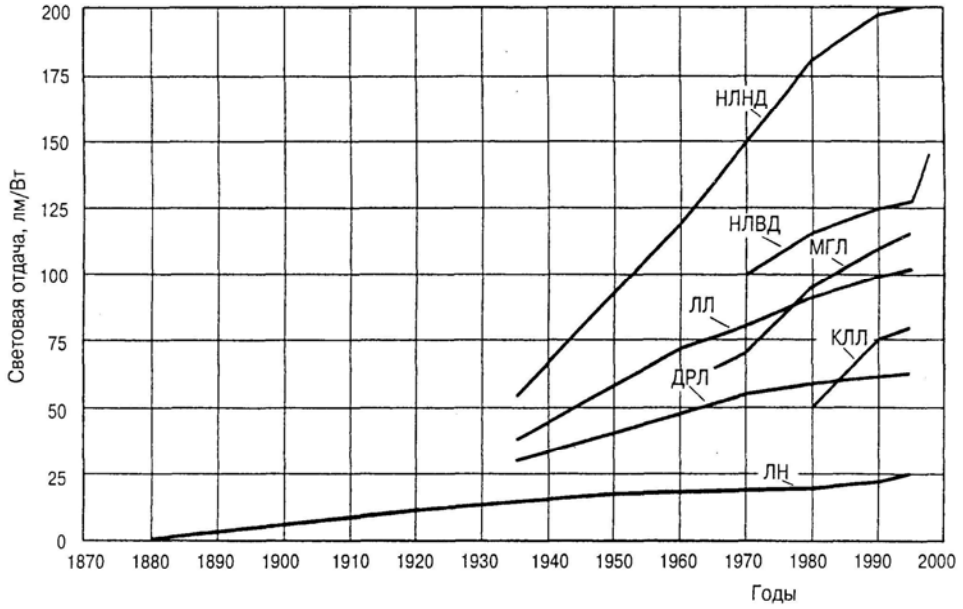


Рис. 12.19. Рост световой отдачи источников света общего назначения с начала эры электрического освещения (1879 г.) до конца XX в.

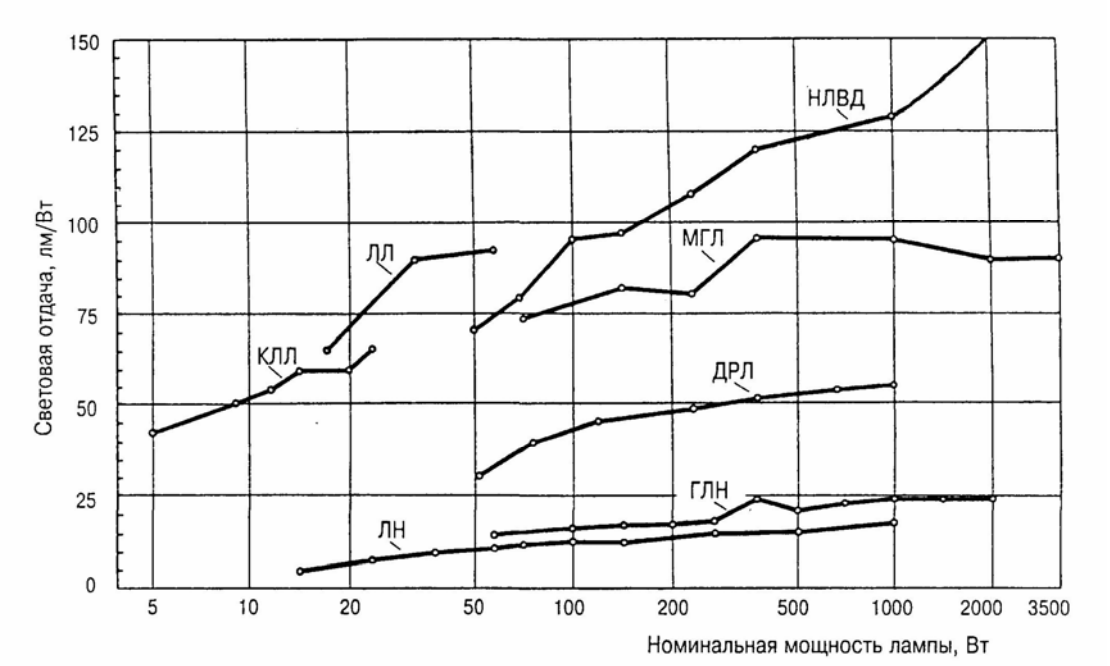


Рис. 12.20. Величины световой отдачи современных источников света общего назначения в зависимости от номинала их мощности

В связи с применением неэффективных ламп, ПРА и светоперераспределяющих элементов подобные установки искусственного освещения превратились в «пожирателей» электроэнергии и не отвечают современному уровню развития светотехники.

Новые средства внутреннего освещения – ЛЛ с повышенной светоотдачей (диаметром 26 мм), светильники с зеркальными отражателями и решетками, электронные высокочастотные ПРА, а также светорегулирующие приборы и системы – дают возможность резко снизить потребляемую мощность ОУ при одновременном повышении качества освещения и комфорта световой среды помещения.

Базируясь на обширном опыте модернизации ОУ административных и других общественных зданий, накопленном за рубежом в последние 10 – 15 лет, можно воспользоваться 3-ступенчатой схемой повышения энергоэффективности освещения. За исходный вариант, в качестве типового примера, принимаются ОУ со старыми типами ЛЛ (ø 38 мм), установленными в светильниках с электромагнитными ПРА и белыми (диффузными) экранирующими решетками.

1-я ступень. Замена старых светильников на новые типы с ЛЛ диаметром 26 мм с трехполосным спектром (повышенная светоотдача) и зеркальными решетками снижает расход электроэнергии на 25 – 30 % (если принять энергопотребление такой ОУ за 100 %).

2-я ступень. Укомплектование этих новых светильников электронными ПРА вместо электромагнитных дает выигрыш еще примерно в 20 %.

3-я ступень. Использование систем автоматического регулирования освещенности от светильников в зависимости от интенсивности естественного освещения в течение дня может привести к дополнительной 20 – 25 %-ной экономии электроэнергии.

Если при реконструкции устаревших ОУ реализовать весь комплекс перечисленных мер, то вполне реально снизить установленную мощность

на 65 – 75 % (!). При этом, естественно, следует иметь в виду, что новое высокоэффективное светотехническое оборудование существенно дороже.

Сроки окупаемости капитальных затрат при модернизации ОУ за счет экономии электроэнергии могут быть самыми различными и зависят от следующих факторов:

- тарифа на электроэнергию;
- разницы в ценах на новые и старые светильники;
- разницы в мощности, потребляемой старым и новым светильником;
- суммарного времени работы ОУ в год.

Таблица 12.3

Сравнительные характеристики комплекта «люминесцентная лампа ø 26 мм с 3-полосным спектром + ПРА» при включении с электромагнитным и с электронным пускорегулирующим аппаратом

Потребляемая мощность, Вт				Световой поток, лм		Световая отдача, лм/Вт			
ЛЛ		ЛЛ+ПРА		При включении с электромагнитным ПРА	При включении с электронным ПРА	ЛЛ		ЛЛ+ПРА	
с электромагнитным ПРА	с электронным ПРА	с электромагнитным ПРА	с электронным ПРА			с электромагнитным ПРА	с электронным ПРА	с электромагнитным ПРА	с электронным ПРА
58	50	71	55	5200	5000	90	100	73	91
36	32	46	36	3350	3200	93	100	73	89
18	16	23	19	1350	1300	75	81	59	68

Таким образом, как видно из приведенных данных, при использовании электронных ПРА мощность, потребляемая одноламповым светильником (ЛЛ+ПРА) снижается: для ЛЛ 58 Вт – на 22 %, для ЛЛ 36 Вт – на 21 %, для ЛЛ 18 Вт – на 17 %; световая отдача (Ф, лм/$P_{\text{ЛЛ+ПРА}}$, Вт) соответственно увеличивается на 25, 21 и 15 %.

12.7. Методика расчета общего освещения помещений

В практике проектирования внутреннего освещения прежде всего возникает задача определения числа светильников, необходимого для общего освещения помещения того или иного назначения.

Исходные данные

1. Габариты помещения: a – длина (м); b – ширина (м); S – площадь (м^2); H – высота (м).

2. Коэффициенты отражения поверхностей: потолка (p_1); стен (p_2); пола (p_3).

3. Нормируемый уровень горизонтальной освещенности ($E_н$, люкс) для данного вида помещения выбирается в соответствии с международными или национальными нормами (СНиП 23-05-95, введены с 01.01.96 г.), см. разд. 12.8.

Затем по каталогам фирм-изготовителей определяется тип светильника и ламп в соответствии с рекомендациями, имеющимися в справочниках по проектированию освещения или на основе опыта инженера-проектировщика.

Расчет требуемого числа светильников ($N_с$) для обеспечения нормируемой $E_н$ (лк) проводится *методом коэффициента использования осветительной установки* ($U_{оу}$) [40].

Исходная формула метода:

$$N_c = \frac{E_н \cdot к_з \cdot S}{n \cdot \Phi_л \cdot U_{оу}}. \qquad (12.1)$$

где $N_с$ – искомое число выбранных для освещения светильников, шт.; $E_н$ - нормируемая освещенность, лк; $к_з$ – коэффициент запаса, учитывающий старение ламп и запыление светильников во время эксплуатации ($к_з$ =

= 1,25 – 1,5 в зависимости от характера воздушной среды); S – площадь помещения, м^2; n – количество ламп в одном светильнике, шт.; $\Phi_п$ – световой поток одной лампы, лм (из каталога); $U_{оу}$ – коэффициент использования осветительной установки (из таблиц).

В общем виде коэффициент использования определяется как $U_{оу} = \Phi_{р.п}/\Sigma\Phi_л$, где $\Phi_{р.п}$ – световой поток, вышедший в помещение от всех светильников и установившийся на расчетной плоскости (например, на уровне 0,8 м от пола) после многократных отражений от стен, пола и потолка; $\Sigma\Phi_л$ – суммарный световой поток всех ламп, установленных в светильниках данного помещения.

Из приведенных соотношений следует, что чем больше величина $U_{оу}$, тем меньше светильников и соответственно ламп требуется для достижения нормы $E_н$ в данном помещении. Другими словами, $U_{оу}$ характеризует энергетическую эффективность осветительной установки.

Величина коэффициента использования $U_{оу}$ зависит:

- от КПД светильника;
- формы его кривой силы света;
- геометрических пропорций освещаемого помещения, характеризуемых индексом помещения i;
- сочетания величин коэффициентов отражения потолка, стен и пола ($p_1/p_2/p_3$).

Индекс помещения прямоугольной формы рассчитывается:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p (a + b)}, \qquad (12.2)$$

где a, b – длина и ширина помещения, м; $h_р$ – расчетная высота, м, – расстояние по вертикали от плоскости расположения светильников до расчетной (рабочей) плоскости помещения (рис. 12.21).

Для потолочных и встраиваемых светильников расчетная высота оп-

ределяется в соответствии с рис. 12.21 как разность высоты помещения и уровня расчетной плоскости: $h_р \approx H - 0{,}8$ м.

В случае подвесных светильников необходимо учесть длину свеса:

$h_р \approx H - (h_с + 0{,}8$ м). Это справедливо, когда $E_н$ нормируется на том или ином уровне от пола. Когда $E_н$ нормируется на полу: для потолочных и встраиваемых светильников $h_р \approx H$, для подвесных – $h_р = H - h_с$.

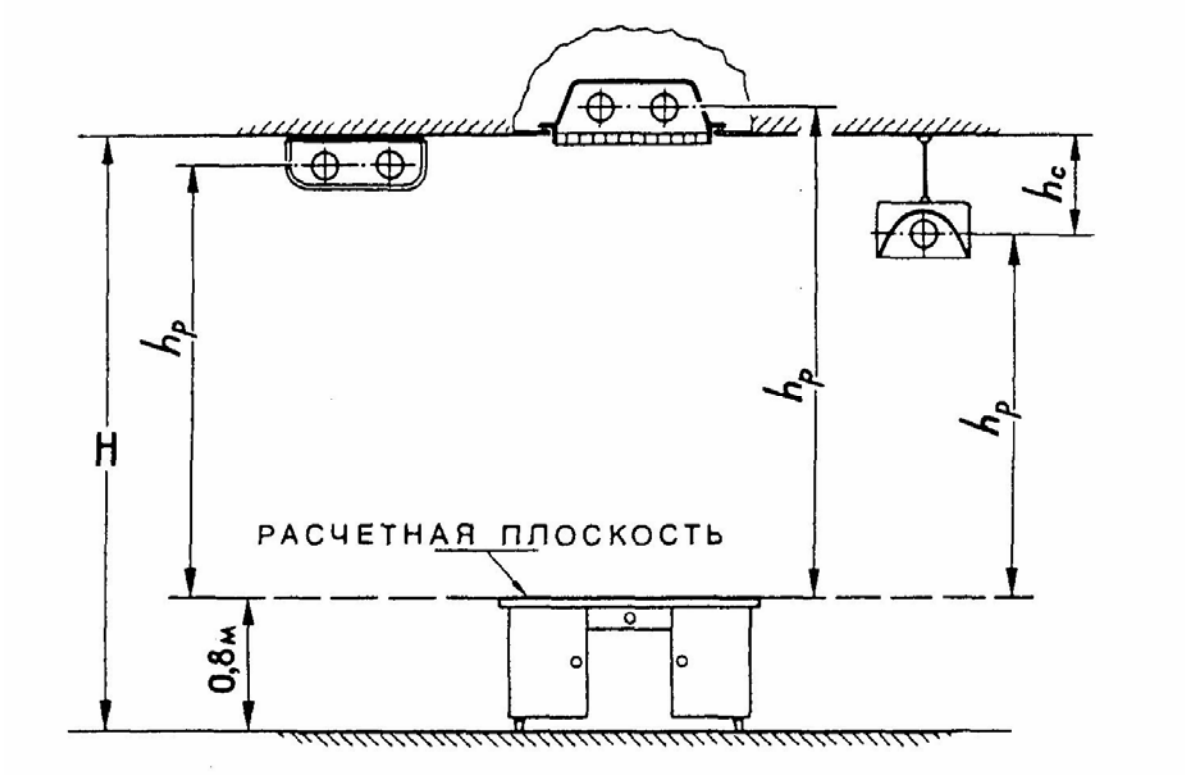


Рис. 12.21. Расчетная схема для определения индекса помещения

Для оценки коэффициентов отражения p поверхностей помещения можно руководствоваться следующими данными:

Краски	*p*	*Строительные и отделочные материалы*	*p*
Белая…….	0,7 – 0,8	светлый паркет……	0,30
светло-серая……	0,4 – 0,6	темный паркет……	0,10
«средне-серая»…	0,25 – 0,35	светлый мрамор….	0,6 – 0,7
темно-серая…….	0,10 – 0,15	темный мрамор…..	0,30

светло-синяя…….	0,4 – 0,5	гранит……	0,20 – 0,25
темно-синяя……..	0,15 – 0,20	цемент, бетон…….	0,2 – 0,3
светло-зеленая…..	0,45 – 0,50	кирпич красный…….	0,1 – 0,15
темно-зеленая……	0,15 – 0,20	кирпич белый……	0,4
светло-желтая……	0,60 – 0,70		
коричневая……	0,20 – 0,30		
розовая……..	0,45 – 0,55		
темно-красная……	0,15 – 0,20		

Значения U_{oy} рассчитаны для каждого конкретного типа светильника и, как правило, приводятся в каталогах фирм-изготовителей.

Пример расчета U_{oy} для промышленного светильника типа *PAX* фирмы *V-LUX* (Бельгия) приведен в табл. 12.4. В светильнике установлены две люминесцентные лампы по 36 Вт; световой поток каждой ЛЛ равен $\Phi_л$ = 2500 лм, КПД светильника – 73 %. Защитный колпак из бесцветного полиметилметакрилата, степень защиты от пыли и воды – *IP*65.

Таблица 12.4

Коэффициенты использования светового потока для 2-ламповых светильников типа *PAX**

Индекс помещения *i*	Коэффициенты отражения							
	0,8 0,5 0,3	0,8 0,5 0,1	0,7 0,5 0,3	0,7 0,5 0,1	0,7 0,3 0,3	0,7 0,3 0,1	0,5 0,5 0,3	p_1 (потолок) p_2 (стены) p_3(пол)
	Коэффициенты использования U_{oy}							
0,6	0,31	0,30	0,30	0,29	0,24	0,23	0,28	Кривая силы света I, отн.ед.
0,8	0,38	0,36	0,37	0,35	0,30	0,29	0,34	
1,0	0,45	0,41	0,43	0,40	0,36	0,34	0,40	
1,25	0,51	0,46	0,48	0,45	0,41	0,39	0,45	
1,50	0,55	0,50	0,53	0,49	0,46	0,43	0,49	
2,00	0,62	0,56	0,60	0,54	0,53	0,49	0,55	
2,50	0,67	0,59	0,64	0,58	0,58	0,53	0,59	
3,00	0,71	0,62	0,68	0,60	0,62	0,56	0,62	
4,00	0,76	0,66	0,72	0,64	0,68	0,60	0,66	КПД = 73 %
5,00	0,79	0,68	0,75	0,66	0,71	0,63	0,68	

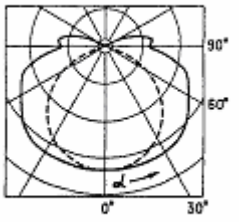


*Таблица воспроизведена из каталога фирмы *V-LUX* (с. 61) в несколько сокращенном виде

Примеры расчета освещения помещений с применением таблиц коэффициентов использования.

1. Определить количество потолочных светильников типа *PAX* 2х36 Вт с люминесцентными лампами белого света, имеющими единичный световой поток $\Phi_л = 2500$ лм, для обеспечения средней освещенности $E_н = 300$ лк на уровне 1 м от пола в производственном помещении со следующими параметрами: длина $a = 30$ м; ширина $b = 5$ м; $S = 150$ м^2; высота $H = 4$ м.

Коэффициенты отражения: потолок $p_1 = 0{,}7$; стены $p_2 = 0{,}5$; пол $p_3 = 0{,}1$.

Воздушная среда – со средней степенью запыленности (коэффициент запаса $\kappa_3 \approx 1{,}3$). Светильники монтируются непосредственно на потолке, т.е. расчетная высота $h_р = H - 1$ м $= 3$ м. Находим индекс помещения по формуле (12.2):

$$i = \frac{30 \cdot 5}{3(30+5)} \approx 1{,}5.$$

Из приведенной выше табл. 12.4 для $i = 1{,}5$ и $p_1/p_2/p_3 = 0{,}7/0{,}5/0{,}1$ определяем искомое значение коэффициента использования $U_{оу} = 0{,}49$.

Итак, для расчета необходимого числа светильников ($N_с$) при заданных условиях имеем все требуемые данные:

$E_н = 300$ лк; $\kappa_3 = 1{,}3$; $S = 150$ м^2; $n = 2$; $\Phi_л = 2500$ лм; $U_{оу} = 0{,}49$.

Пользуясь формулой (12.1), находим:

$$N_c = \frac{300 \cdot 1{,}3 \cdot 150}{2 \cdot 2500 \cdot 0{,}49} \approx 24 \text{ шт.}$$

2. В административном групповом бюро (офисе) площадью 30 м^2 ($a = 6$ м, $b = 5$ м, $H = 3$ м) рабочие места оснащены персональными компьютерами. В соответствии с нормами в плоскости столов должна быть обеспечена средняя $E_н = 500$ лк, а применяемые светильники должны иметь ограниченную яркость, чтобы исключить мешающие отражения в дисплеях. Помещение имеет светлую отделку ограждающих поверхностей: коэффи-

циенты отражения: $p_1 = 0{,}8$; $p_2 = 0{,}5$; $p_3 = 0{,}3$. Для освещения выбраны встраиваемые в подвесной потолок квадратные светильники типа *INW* фирмы *V-LUX* (Бельгия) с четырьмя люминесцентными лампами теплобелого света по 18 Вт ($\Phi_л = 1050$ лм) и зеркальными экранирующими решетками, продольные и поперечные элементы которых имеют параболический профиль, что резко снижает яркость выходного отверстия светильника под необходимыми углами наблюдения (тип решетки *AB*/*AB* – *Anadized Bright*). КПД светильника равен 69 %.

По формуле (12.2) вычисляем индекс помещения, предварительно приняв расчетную высоту $h_р = H - 0{,}8$ м = 2,2 м:

$$i = \frac{6 \cdot 5}{2{,}2(6+5)} \approx 1{,}25 .$$

Коэффициент запаса для нормальных условий запыления воздушной среды принимаем равным $\kappa_3 = 1{,}25$.

Из специального каталога *V-LUX*, (с. 69) при $i = 1{,}25$ и $p_1/p_2/p_3 = 0{,}8/0{,}5/0{,}3$ находим для светильника *INW* 4x18 (*AB*/*AB*) значение коэффициента использования: $U_{оу} = 0{,}58$.

По формуле (12.1) рассчитываем требуемое число светильников для обеспечения $E_н = 500$ лк:

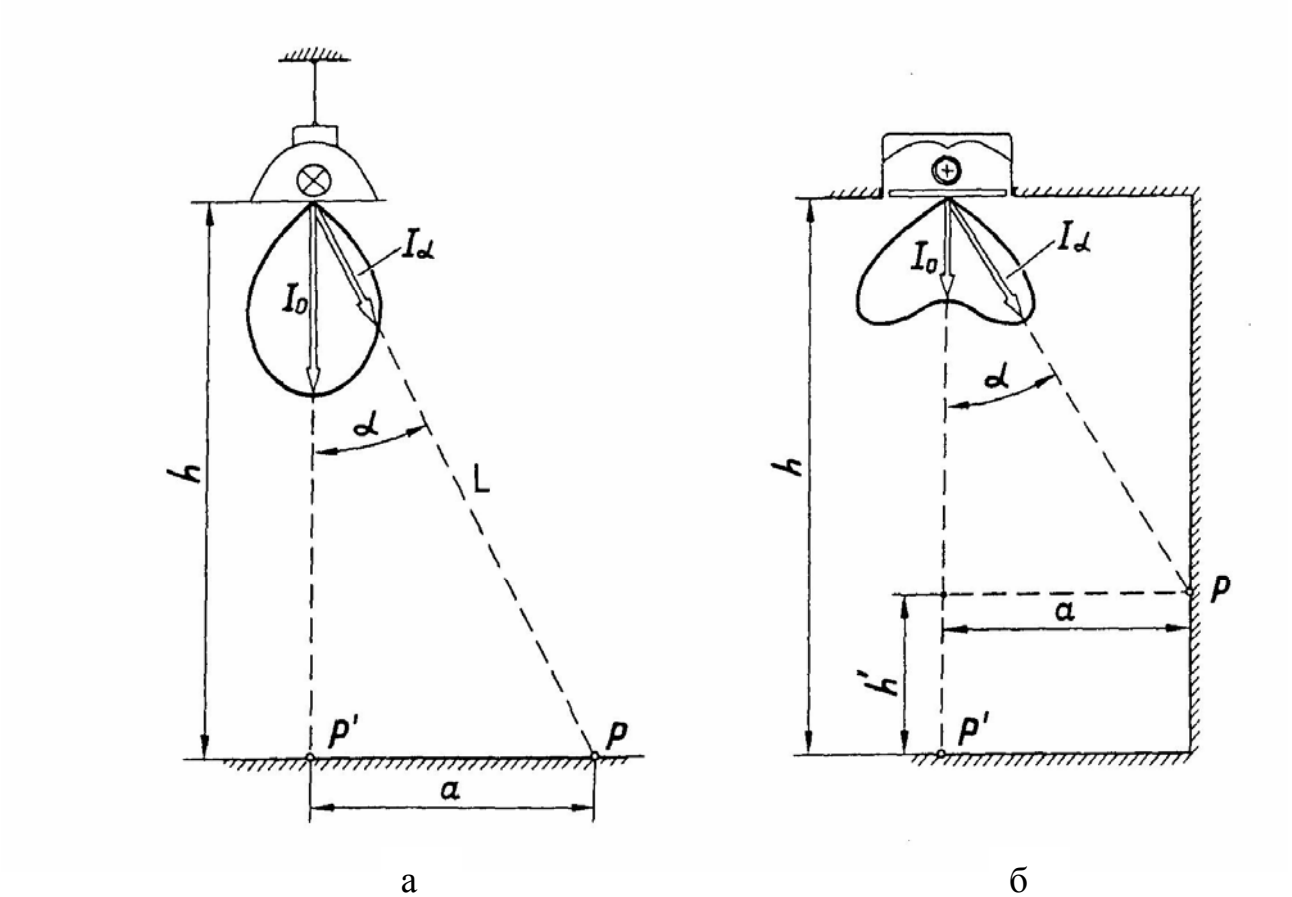
$$N_c = \frac{500 \cdot 1{,}25 \cdot 30}{4 \cdot 1050 \cdot 0{,}58} \approx 8 .$$

Таким способом можно рассчитать осветительную установку помещения прямоугольной формы с использованием любого типа светильника, для которого имеются таблицы коэффициентов использования. Рекомендации по оптимальному размещению рассчитанного числа светильников для достижения необходимой средней $E_н$ и требуемой равномерности освещения даются в светотехнической литературе и каталогах.

При заданной высоте расположения светильника h и по известной кривой силы света (в канделах) может быть рассчитана горизонтальная или вертикальная освещенность (в люксах) в любой точке освещаемой поверхности.

Для подобных расчетов используются весьма простые формулы: *освещенность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника света до освещаемой точки (объекта, поверхности).*

Схемы и формулы для расчета освещенности точечным методом [40] приведены на рис. 12.22 и 12.23.



а б

Рис. 12.22. Геометрические соотношения и формулы для расчета горизонтальной $E_г$ и вертикальной $E_в$ освещенности точечным методом:

а – в точке P $E_г = \dfrac{I_a \cos\alpha}{L^2} = \dfrac{I_a \cos^3\alpha}{h^2}$, в точке P' $E_г = I_o / h^2$;

б – в точке P $E_в = \dfrac{I_a \cos^2\alpha \cdot \sin\alpha}{(h-h')^2}$; в точке P' $E_г = I_o / h^2$.

Покажем на примере, как можно практически применить точечный метод расчета освещенности.

Задача. Промышленный светильник прямого света с концентрированным светораспределением (кривая силы света типа *К*), зеркальным отражателем и лампой ДРЛ-250 Вт (например, типа РСП 05) подвешен на

высоте h = 6 м. Рассчитать горизонтальную освещенность $E_г$ в точке P, удаленной от проекции светильника по горизонтали на расстояние a = 5 м.

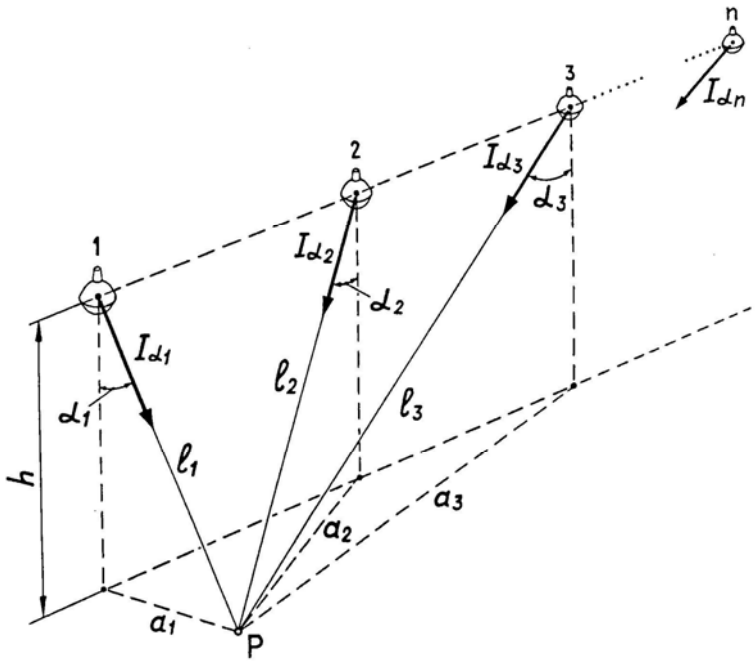


Рис. 12.23. Суммарная горизонтальная освещенность в точке от нескольких светильников, расположенных в линию:

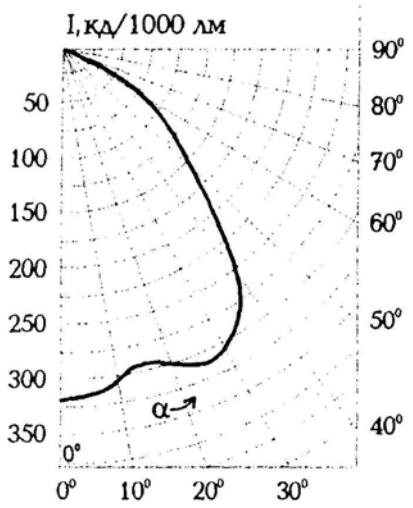
$$\Sigma E_{г(р)} = E_1 + E_2 + E_3 + \cdots + E_n$$

Кривая силы света (КСС) светильника в полярных координатах и в табличной форме приведена на рис. 12.24. В соответствии с рис. 12.22 для наших условий (a = 5 м, h = 6 м) определяем угол α = arctg $a/h \approx 40$ °. Из приведенной на рис. 12.24 КСС находим силу света светильника под углом α = 40°: при условной лампе с $\Phi'_л$ = 1000 лм она равна $I'_{40°}$ = 250 кд. Однако реальная лампа ДРЛ-250 Вт, установленная в светильнике, имеет световой поток $\Phi_л$ = 13000 лм. Следовательно, фактическая сила света светильника под углом α = 40° будет в 13 раз больше:

$$I_{40°} = I'_{40°} \cdot (\Phi_л / 1000 \text{ лм}) = 250 \cdot 13 = 3250 \text{ кд}.$$

Тогда горизонтальная освещенность на полу помещения в точке P будет равна

$$E_г = \frac{I_{40^\circ} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{3250}{6^2} \cdot \cos^3 40^\circ \approx 41 лк.$$



α, град	*I*, кд/1000 лм
0	310
10	300
20	290
30	300
40	250
50	150
60	75
70	0

Рис. 12.24. КСС светильника прямого света с лампой ДРЛ 250 Вт (Световой поток лампы $\Phi_л$ = 13000 лм; КПД светильника – 70 %)

Так же можно рассчитать $E_г$ при различных высотах подвеса светильника h и на разных удалениях точки P от проекции светильника a. Результаты такого расчета проиллюстрированы на рис. 12.25.

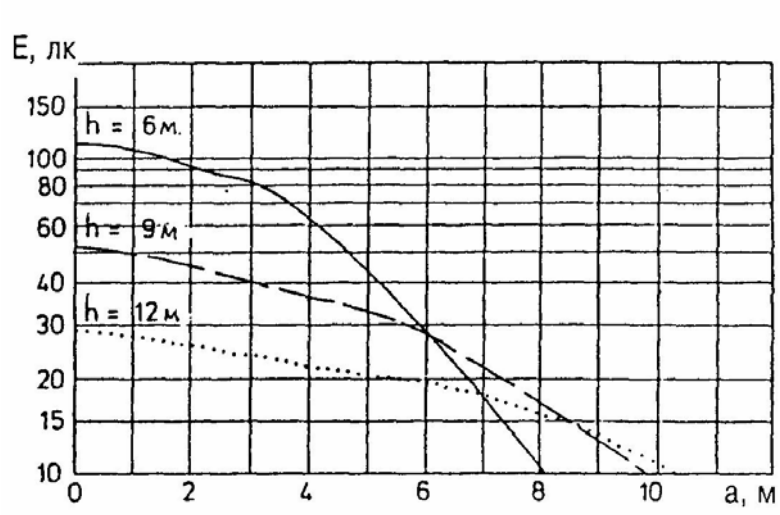


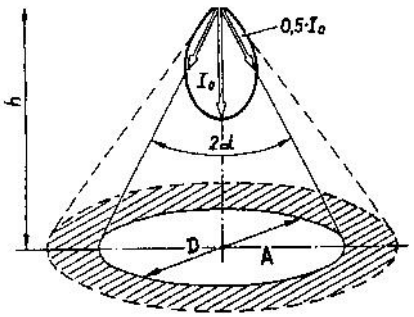
Рис. 12.25. Горизонтальная освещенность, создаваемая светильником с лампой ДРЛ мощностью 250 Вт ($\Phi_л = 13 \cdot 10^3$ лм) на различных расстояниях a при разной высоте подвеса h

Приведем пример расчета общего внутреннего освещения фасадной витрины магазина.

Задача. В витрине обувного магазина, имеющей площадь S = 18 м^2 (7,2 х 2,5 м) и высоту h = 2 м, необходимо создать на полу среднюю горизонтальную освещенность $E_{ср}$ = 1500 лк.

Чтобы учесть снижение освещенности, вызываемое спадом светового потока ламп и запылением светильников, следует увеличить первоначальную E примерно на 25 %; таким образом, исходный уровень освещенности составит $E_{ср}$ = 1500·1,25 = 1875 лк. Освещение должно обеспечить высокое качество цветопередачи (P_a > 80) и минимальное потребление электроэнергии. С учетом этих требований в качестве осветительного прибора выбран встраиваемый кругло-симметричный светильник с металлогалогенной лампой 150 Вт белого цвета (световая отдача η_v = 75 лм/Вт; $\Phi_л$ = 11250 лм; цветовая температура излучения $T_ц$ = 4200 К; общий индекс цветопередачи R_a = 85; срок службы – 6000 ч). Осевая сила светильника: I_o= 7880 кд; угол рассеяния светового пучка, отнесенный к 50 %-ному снижению осевой силы света: $2\alpha_{0,5Io}$ = 60°; $L_{30°} = 0{,}5 \cdot I_o$ = 3940 кд.

В табл. 12.5 приведены рассчитанные с учетом этих данных уровни минимальной E_{min}, максимальной E_{max} и средней $E_{ср}$ освещенности, создаваемой таким светильником в пятне диаметром D и площадью A на горизонтальной поверхности, удаленной от светильника на расстояние h.



Диаметры световых пятен при различных h, указанные в таблице, соответствуют 50 %-ному углу рассеяния 2α = 60° (именно в этой угловой зоне излучается большая часть светового потока); фактический размер светового пятна, естественно, больше, но в краевой зоне освещенность резко снижена и в расчет не принята.

В нашем случае светильники встраиваются в потолок витрины (h = 2 м); из таблицы определяем, что при такой высоте расположения каждый

светильник создаст световое пятно площадью $A = 4{,}2$ м^2, средняя освещенность в котором составляет $E_{ср} = 1141$ лк.

Таблица 12.5

Результаты освещенности витрины

h, м	D, м	A, м^2	E_{min}, лк	E_{max}, лк	$E_{ср}$, лк
1,0	1,15	1,0	2564	7880	4565
1,5	1,73	2,3	1140	3501	2029
2,0	2,30	**4,2**	641	1970	**1141**
3,0	3,45	9,4	285	875	507
4,0	4,6	16,6	160	492	285

Для достижения такой $E_{ср}$ на полу всей витрины необходимое число светильников составит: $N' = S/A = 18/4{,}2 = 4{,}3$ шт. Но нам требуется обеспечить $E_{ср} = 1875$ лк, следовательно, искомое число светильников $N = N'(1875/1141) = 4{,}3 \cdot 1{,}64 = 7$ шт.

Зафиксируем показатели освещения, характеризующие его энергопотребление. Металлогалогенная лампа 150 Вт вместе с электромагнитным ПРА потребляет около 170 Вт. Тогда суммарная мощность осветительной установки витрины

$$P = 170 \cdot 7 = 1190 \text{ Вт}.$$

Удельная мощность:

- на единицу освещаемой площади – $p_1 = P/S = 1190/18 = 66$ Вт/м^2.
- на единицу средней освещенности – $p_2 = P/E_{ср} = 1190/1875 = 0{,}63$ Вт/лк.

12.8. Нормы освещения (основные положения СНиП 23-05-95)

С 1 января 1996 г. введены в действие строительные нормы и правила Российской Федерации «СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение». Настоящий нормативный документ является *обязательным при проектировании внутреннего освещения* вновь строящихся и реконст-

руируемых зданий и сооружений различного назначения, рабочих зон вне зданий, открытых площадок промышленных и сельскохозяйственных предприятий, наружного освещения городов и других населенных пунктов.

Данные нормы *не распространяются* на проектирование осветительных установок подземных выработок, аэродромов, морских и речных портов, железнодорожных станций и их путей, спортивных и лечебно-профилактических зданий, сельскохозяйственных складов, помещений для размещения растений, животных и птиц, а также на проектирование специальных видов технологического и охранного освещения.

На базе настоящих норм разрабатываются и согласовываются в установленном порядке отраслевые нормативы освещения.

Ниже излагаются в сокращенной форме наиболее важные положения СНиП 23-05-95, касающиеся только искусственного, преимущественно внутреннего освещения.

Нормы регламентируют наименьшую освещенность $E_н$ на рабочей поверхности в помещении при применении разрядных ламп (ЛЛ, КЛЛ, ДРЛ, МГД НЛВД), для наружного освещения – при любых источниках света.

Принята следующая шкала ступеней нормируемых уровней $E_н$, лк: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 5000.

Уровень $E_н$ нормируется в зависимости от размеров объекта различения (наименьшего для данной зрительной задачи), контраста объекта с фоном, на котором он различается, и характеристики этого фона:

- фон считается светлым, если коэффициент отражения поверхности $p > 0{,}4$;
- средний фон соответствует $p = 0{,}2 – 0{,}4$;
- темный фон – $p < 0{,}2$.

Контраст объекта различения с фоном: $K = (L_о – L_Ф)/L_Ф$, где $L_о$ – яркость объекта, кд/м^2, $L_Ф$ – яркость фона, кд/м^2.

Если $K > 0,5$, то контраст считается большим (резкое отличие между $L_о$ и $L_Ф$); средний контраст характеризуется $K = 0,2 – 0,5$ ($L_Ф$ и $L_о$ заметно различаются); малым считается контраст, когда $K < 0,2$.

Необходимый уровень $E_н$ тем выше, чем меньше размер различаемого объекта (детали), чем темнее фон и чем меньше контраст яркости объекта с фоном. В соответствии с этим значения $E_н$ установлены в зависимости от трудности зрительной задачи (разряда зрительной работы), табл. 12.6.

Таблица 12.6

Характеристика разрядов зрительной работы

Разряд зрительной работы	Характеристика зрительной работы	Наименьший (или эквивалентный) размер объекта различения, мм
I	Наивысшей точности	< 0,15
II	Очень высокой точности	от 0,1 5 до 0,30
III	Высокой точности	от 0,30 до 0,50
IV	Средней точности	от 0,5 до 1,0
V	Малой точности	> 1 до 5
VI	Очень малой точности	> 5
VII	Работа со светящимися материалами и изделиями в «горячих» цехах	> 0,5
VIII	Общее наблюдение за ходом производственного процесса (периодическое, постоянное) при периодическом (или постоянном) пребывании людей в помещении	–

Наименьшие размеры объектов различения и соответствующие разряды сложности зрительной работы, указанные в табл. 12.6, устанавливаются при удалении объекта от работающего не более чем на 0,5 м при среднем контрасте и светлом фоне. Для первых пяти разрядов работ – от наивысшей до малой точности – может быть использована как система комбинированного освещения (общее + местное), так и система одного общего освещения.

Для VI – VIII разрядов применяется только общее освещение. При

системе комбинированного освещения требуемые уровни $E_н$ выше, чем при системе одного общего освещения, и основная доля суммарной нормируемой освещенности ($E_н = E_м + E_о$) приходится на местное освещение. Соотношение освещенности от местного освещения и от общего $E_м/E_о$ может составлять от 10 : 1 до 2 : 1 в зависимости от разряда зрительной работы.

В целях снижения переадаптации зрения (из-за неравномерности освещения в поле зрения) нормы регламентируют долю общего освещения в системе комбинированного. Освещенность на рабочей поверхности от светильников общего освещения $E_о$ должна составлять не менее 10 % от суммарной $E_н$ для комбинированного освещения, но должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах и не менее 75 лк – при ЛН.

Максимальный нормируемый уровень освещенности для работ наивысшей точности (I разряд) при малом контрасте и темном фоне составляет для комбинированной системы освещения $E_н = 5000$ лк. Минимальная $E_н$ при общем освещении для грубых работ и работ малой точности установлена на уровне 200 лк.

Переход от регламентированной разрядами работы к более высоким или более низким значениям $E_н$ осуществляется с учетом приведенной выше ступенчатой шкалы освещенности.

Нормы СНиП 23-05-95 ориентированы на применение разрядных источников света (ЛЛ, ДРЛ, НЛВД и др.), но в них предусмотрена возможность использования и ЛН. При этом уровне $E_н$ следует снижать по шкале освещенности:

- на одну ступень при комбинированном освещении, если $E_н > 750$ лк;
- на одну ступень при системе общего освещения для разрядов работ I – V, VII;
- на две ступени при общем освещении для разрядов VI и VIII.

Базовые уровни нормируемых освещенностей $E_н$ для всех восьми разрядов зрительных работ при внутреннем искусственном освещении приведены в табл. 12.7.

Таблица 12.7

Базовые уровни нормируемой освещенности

Разряд и характеристика зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Фон	Нормируемая освещенность $E_н$, для искусственного освещения, лк		
				При системе комбинированного освещения		При системе одного общего освещения ($E_н = E_о$)
				Всего (от общего и местного, $E_н = E_о + E_м$)	В том числе от общего ($E_о = E_н - E_м$)	
1	2	3	4	5	6	7
I Наивысшей точности	а	малый	темный	5000 4500	500 500	–
	б	малый средний	средний темный	4000 3500	400 400	1250 1000
	в	малый средний большой	светлый средний темный	2500 2000	300 200	750 600
	г	средний большой	светлый средний	1500 1250	200 200	400 300
II Очень высокой точности	а	малый	темный	4000 3500	400 400	–
	б	малый средний	средний темный	3000 2500	300 300	750 600
	в	малый большой	светлый темный	2000 1500	200 200	500 400
	г	средний большой	светлый средний	1000 750	200 200	300 200
III Высокой точности	а	малый	темный	2000 1500	200 200	500 400
	б	малый средний	средний темный	1000 750	200 200	300 200
	в	малый большой	светлый темный	750 600	200 200	300 200
	г	средний	светлый	400	200	200
IV Средней точности	а	малый	темный	750	200	300
	б	малый	средний	500	200	200
	в	средний	средний	400	200	200
	г	большой	светлый	–	–	200
V Малой точности	а	малый	темный	400	200	300
	б	малый	средний	–	–	200
	в	малый	светлый	–	–	200
	г	средний	светлый	–	–	200

Окончание табл. 12.7

1	2	3	4	5	6	7
VI Очень малой точности (грубая зрительная работа)	Независимо от контраста объекта с фоном и светлоты фона			–	–	200
VII Работа в «горячих» цехах со светящимися материалами и изделиями	То же			–	–	200
VIII Общее наблюдение за производственным процессом:						
- постоянное	То же			–	–	200
- периодическое при постоянном пребывании людей в помещении	>>			–	–	75
- периодическое при непостоянном пребывании людей	>>			–	–	50

В табл. 12.8 выборочно приведены нормируемые уровни освещенности, регламентируемые СНиП 23-05-95 для помещений административных зданий, финансово-кредитных учреждений, учебных заведений, детских учреждений, зрелищных зданий, магазинов, гостиниц и вспомогательных помещений этих общественных зданий.

Кроме основной характеристики – освещенности на рабочих поверхностях, СНиП нормируют еще и качественные показатели освещения, характеризующие ограничение слепящего действия и пульсации освещенности. Величины этих показателей в табл. 12.8 не приводятся, но должны

обязательно приниматься во внимание при проектировании осветительных установок.

Таблица 12.8

Выдержки из норм искусственного освещения для помещений основных групп общественных зданий (в соответствии со СНиП 23-05-95 и отраслевыми нормативами)

Здания и помещения	Освещенность рабочих поверхностей, лк		Цилиндрическая освещенность, лк
	при комбинированном освещении	при одном общем освещении	
1	2	3	4
Административные здания, проектные и научно-исследовательские организации:			
- офисы и другие рабочие комнаты	400*/200**	300	–
- проектные, конструкторские и чертежные бюро	600*/400**	500	–
- читальные залы	400*/200**	300	100
- помещения с персональными компьютерами, дисплейные залы	750*/300**	400	–
- конференц-залы, залы заседаний	–	200	75
- лаборатории	750*/300**	300	–
Финансовые учреждения, организации кредитования и страхования:			
- операционные залы, кассовые помещения	400*/200**	300	–
- инкассаторная	–	300	–
Школы, средние и высшие учебные заведения:			
- классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории	–	500 (вертикальная на середине доски) 300 (горизонтальная на столах и партах)	–
- кабинеты и комнаты преподавателей	–	200	–
- спортзалы	–	200	–
- рекреации	–	150	–

Продолжение табл.12.8

1	2	3	4
Детские дошкольные учреждения:			
- приемные, раздевальные групповые комнаты, игральные комнаты, столовые	–	200	–
- спальные комнаты	–	75	–
Санатории, дома отдыха:			
- палаты и спальные комнаты	–	150	–
Зрелищные здания:			
- зрительные залы для мероприятий республиканского значения	–	500***	150
- зрительные залы театров, концертные залы	–	300***	100
- зрительные залы клубов, фойе театров	–	200***	75
- выставочные залы	–	200***	75
- фойе кинотеатров, клубов	–	150	50
Магазины:			
Торговые залы:			
- продовольственных магазинов самообслуживания	–	400	100
- магазинов готового платья, белья, обуви, тканей, меховых изделий, головных уборов, парфюмерных, ювелирных, электро- и радиотоваров, продовольственных без самообслуживания	–	300	100
-посудных, мебельных, спорттоваров, электробытовых машин, мебельных и посудных магазинов	–	200	75
Примерочные кабины	–	300 (вертикальная на уровне 1,5 м от пола)	–
Помещения (или зоны) главных касс	–	300	-
Гостиницы:			
- бюро обслуживания	–	200	–
- гостиные	–	150	–
- номера	–	100	–
Вспомогательные здания и помещения:			
- санитарно-бытовые помещения: умывальные, уборные, курительные,		75	–
душевые, гардеробные	–	50	–

Окончание табл. 12.8

1	2	3	4
- здравпункты:			
ожидальные	–	150	–
регистратура	–	200	–
кабинеты врачей	–	300	–
процедурные кабинеты	–	300	–
вестибюли и гардеробные верхней одежды:			
в школах, вузах, театрах, клубах, гостиницах и главных входах в крупные промышленные и общественные здания;	–	150	–
в прочих промышленных, вспомогательных и общественных зданиях	–	75	–
Лестницы:			
главные лестничные клетки общественных и производственных зданий;	–	100	–
лестницы жилых домов;	–	10	–
остальные лестницы	–	50	–
Коридоры и проходы:			
главные	–	75	–
поэтажные в жилых домах	–	20	–
остальные коридоры	–	50	–

Примечания:
* горизонтальная освещенность на уровне 0,8 м от пола при совместном действии общего и местного освещения;
** то же, но только от общего освещения;
*** при использовании ламп накаливания уровень нормируемой освещенности может быть понижен на одну ступень.

Контрольные вопросы

1. Классификация светильников.
2. Назовите основные характеристики осветительных приборов.
3. Каковы основные критерии оптимальной световой среды помещений?
4. Роль освещения в трудовой деятельности человека.
5. Основные составляющие затрат на освещение.
6. Методические особенности расчетов общего освещения помещений.

13. Вторичные энергетические ресурсы

13.1. Терминология

Применительно к вторичным энергетическим ресурсам (ВЭР) используются следующие термины и понятия [44]:

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

Общие энергетические отходы подразделяют на три потока:

1) неизбежные потери энергии в технологическом агрегате (установке);

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

3) энергетические отходы внешнего использования – энергетические отходы, представляющие собой вторичные энергетические ресурсы (ВЭР).

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

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

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

Различают четыре вида выработки: возможную, т.е. максимальное количество энергии, которое можно получить при работе установки; экономически целесообразную, т.е. выработку с учетом экономических факторов (себестоимости, затрат труда и т. д.); планируемую – количество

энергии, которое предполагается получить за определенный период времени при вводе утилизационных установок или модернизации имеющихся, и фактическую – количество энергии, реально полученное за определенный период.

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

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

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

Коэффициент утилизации ВЭР – отношение фактической (планируемой) экономии топлива за счет ВЭР к возможной. Его определяют для одного агрегата-источника ВЭР, группы агрегатов, предприятия, холдинга по каждому виду ВЭР и суммарно для всех видов ВЭР.

Для характеристики состояния утилизации ВЭР, пригодных для непосредственного использования без преобразования энергоносителей, применяют следующие показатели: выход ВЭР; фактическое использование ВЭР; резерв утилизации; экономия топлива за счет ВЭР (возможная, фактическая); коэффициент утилизации ВЭР [41].

13.2. Классификация ВЭР

Различают ВЭР горючие, тепловые и избыточного давления (табл. 13.1).

Горючие ВЭР – это горючие газы и отходы одного производства, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива в других производствах, например доменный газ в металлургии; щепа, опилки, стружка в деревообрабатывающей промышленности; твердые, жидкие

промышленные отходы в химической и нефтегазоперерабатывающей промышленности и т.д.

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

Тепловые ВЭР – это физическая теплота отходящих газов, основной и побочной продукции производства; теплота золы и шлаков, горячей воды и пара, отработанных в технологических установках, рабочих тел систем охлаждения технологических установок. Тепловые ВЭР могут использоваться как непосредственно в виде теплоты, так и для раздельной или комбинированной выработки теплоты, холода, электроэнергии в утилизационных установках.

Таблица 13.1

Классификация ВЭР по видам и направлениям их использования [41]

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

По энергетической ценности отходящая теплота может классифицироваться по трем температурным уровням: высокотемпературный (> 650ºС); среднетемпературный (230 – 650 ºС); низкотемпературный (< 230 ºС) [10].

13.3. Технологические схемы производства энергоносителей за счет использования ВЭР

Принципиальная схема использования энергетических ресурсов в агрегатах-источниках ВЭР и распределения энергетических потоков при утилизации ВЭР приведена на рис. 13.1 [41].

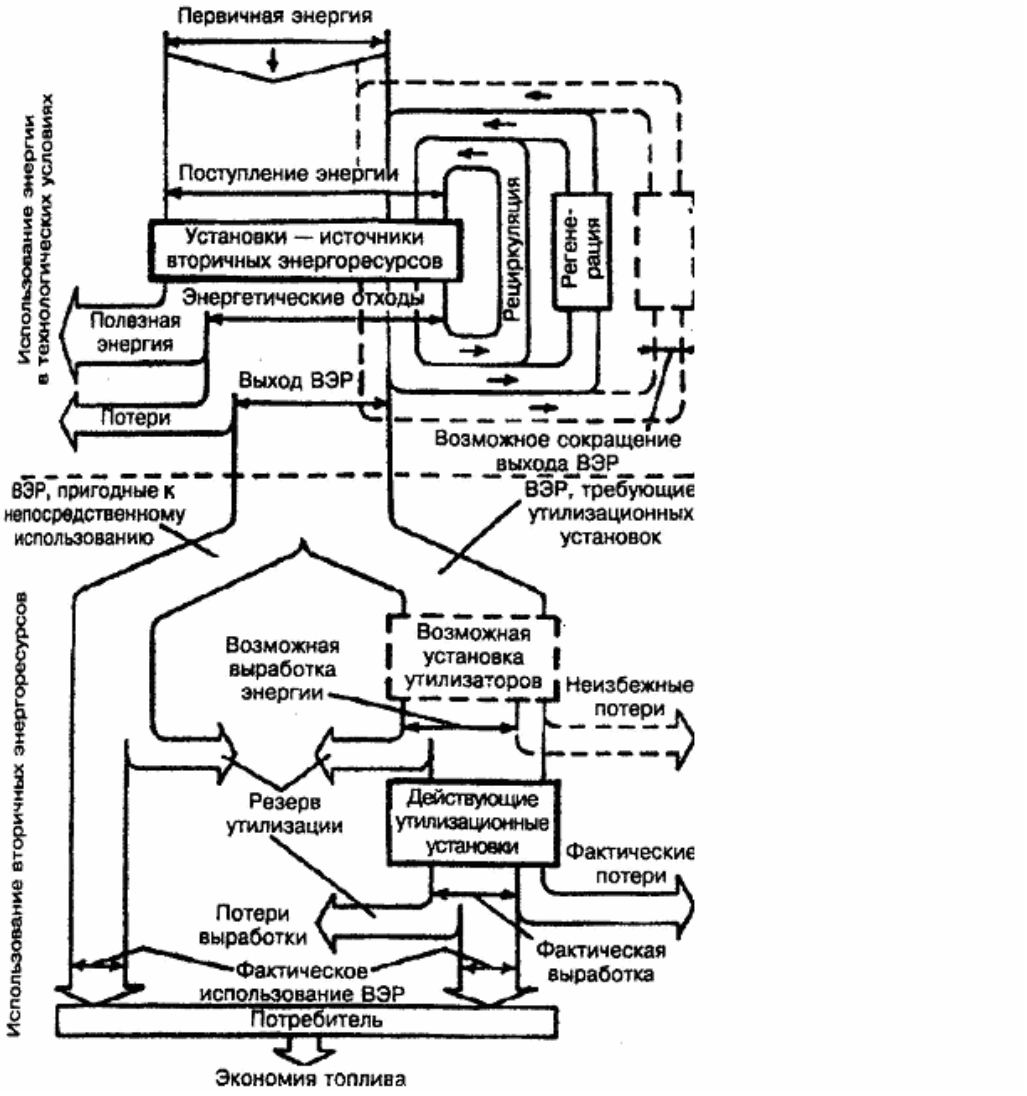


Рис. 13.1. Принципиальная схема использования энергоресурсов при утилизации ВЭР

У всех энерготехнологических установок, в результате работы которых образуются ВЭР, есть общая особенность – эффективность использования топлива повышается, если в этой установке топливо максимально используется непосредственно для реализации технологического процесса [45 – 47, 50].

Обычно это достигается за счет регенерации, рекуперации и рециркуляции отходящей теплоты в самом источнике вторичных энергетических ресурсов. Примером реализации такой схемы может быть установка за нагревательными, термическими печами теплообменников для подогрева дутьевого воздуха, подаваемого на горение в эти печи.

Увеличение температуры дутьевого воздуха на каждые 60 ºС снижает расход топлива на печной агрегат на 2 %. Причем, используя такой прием, можно снизить температуру отходящих газов до 150 ºС. Иными словами, необходимость использования оставшегося потенциала дымовых газов в виде ВЭР может быть целесообразной только при наличии потребителей низкопотенциального тепла.

Большое значение здесь имеет вид технологического процесса. Покажем это на примере использования в энергетике технологии когенерации – т. е. обеспечения комбинированного производства электрической (или механической) и тепловой энергии из одного и того же первичного источника.

При эксплуатации традиционных (паровых) электрических станций в связи с технологическими особенностями процесса генерации энергии большое количество выработанного тепла сбрасывается в атмосферу через конденсаторы пара, градирни и т. п. Большая часть этого тепла может быть использована в системах когенерации. Сравнение когенерации и раздельного производства электричества и тепла показывает, что КПД с 30 – 50 % для электростанции может быть повышен до 80 – 90 % в системах когенерации на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) – табл. 13.2 [51].

Таблица 13.2

Сравнение эффективности традиционного метода производства электроэнергии и когенерации

Раздельное производство электроэнергии и теплоты	
Топливо 100 % → Электростанция → Электричество 36 % Топливо 100 % → Котельная → Теплота 80 %	Общая эффективность КПД = [(36+80)/200]·100 = = 58 %
Когенерация	
Топливо 100 % → Система когенерации → Электричество 35 %, Теплота 55 %	КПД = 35+55 = 90 %

Но в большинстве своем температура отходящих газов различных промышленных печей и нагревательных устройств колеблется от 450 – 700 ºС (в печах с регенераторами) до 900 °С в термических, прокатных и кузнечных (без регенерации), что позволяет в котлах-утилизаторах вырабатывать пар для технологических и энергетических нужд (табл. 13.3, 13.4).

В этих случаях охлаждение продуктов сгорания в котлах-утилизаторах происходит от 450 – 650 до 200 – 230 °С, для этого применяют в основном котлы-утилизаторы с многократной принудительной циркуляцией (МПЦ). В котлах этого типа (рис. 13.2) циркуляция осуществляется за счет работы специального циркуляционного насоса, вследствие чего допустимо повышенное гидравлическое сопротивление циркуляционного контура.

Таблица 13.3

Показатели выхода тепловых ВЭР для некоторых энергоемких технологий [56]

Продукт, агрегат-источник ВЭР или технологический процесс	ВЭР и их краткая характеристика	Удельный выход ВЭР на 1 т продукта (сырья), Гкал/ед. прод.	Возможная удельная выработка тепла за счет ВЭР на 1 т продукта (сырья), Гкал/ед. прод.
1	2	3	4
Производство стали			
Сталь Мартеновская печь (в том числе двухванная)	Уходящие газы Θ = 650 – 700 °С Θ = 1450 °С (для двухванной печи), запыленность 1,5 – 8,0 г/м^3 Охлаждение конструкций Θ = 150 °С (водяное охлаждение) $\Theta_{пара}$ = 190 – 250 °С, p = 3,5 – 8 ата	0,5 – 0,7	0,24
Электросталеплавильная печь (средняя емкость 50 т)	Уходящие газы Θ = 1000 °С Θ = 1300 °С	0,1 – 0,2	0,13
Прокатное производство			
Заготовки Нагревательная печь (методическая, кольцевая с шагающим подом и др.)	Уходящие газы Θ = 1250 – 1350 °С (сортовые стандарты) Θ = 1500 °С (трубосварочные станы)	0,25 – 0,35	0,1
	Охлаждение конструкций $\Theta_{воды}$ = 50 °С p = 6 – 45 ата, Θ = 250 °С	0,6 – 0,11	0,06 – 0,09
Первичная переработка нефти			
Сырая нефть ЭЛОУ-АТ-6 ЭЛОУ-АВТ-6 Установки депарафинации	Дымовые газы Θ = 350 – 450 °С Θ = 400 – 450 °С Θ = 470 °С	0,06 0,105 0,065	0,02 – 0,03 0,05 – 0,06 0,035
Каталитический риформинг			
Установки: ЛГ-35-8/300Б Л-35-11/300-95 Л-35-11/600 Л-35-11/600-68 Л-35-11/1000	Дымовые газы Θ = 460 – 500 °С Θ = 500 – 520 °С Θ = 400 – 450 °С Θ = 600 – 500 °С Θ = 400 – 500 °С	 0,35 0,29 0,26 0,315 0,21	 0,12 0,19 0,1 – 0,2 0,21 0,13

Окончание табл. 13.3

1	2	3	4
Гидроочистка			
Установки: Л-24-6 Л-24-7	Дымовые газы Θ = 300 °С Θ = 330 – 420 °С	 0,102 0,035 – 0,04	 0,03 – 0,04 0,012
Промышленность стройматериалов			
Стекло Горшковая печь	Уходящие газы Θ = 400 – 600 °С (после теплообменника) Θ = 1300 °С (после регенератора)	1,7 – 2,7	1,0 ккал/т стекломассы
Ванная регенеративная печь		0,35 – 0,54 ккал/т	200 – 350 ккал/кг стекломассы
Минеральная вата Вагранка для плавки минерального сырья	Уходящие газы Θ = 500 – 800 °С		0,334
Известь Печь обжига извести	Уходящие газы Θ = 100 – 400 °С	0,116	0,081
Пищевая промышленность			
Масло растительное Сушка семян Прессование Экстракция, рафинация	Тепло бинарной смеси, масла, конденсат, парогазовая смесь Θ = 40 – 130 °С	0,86	0,4
Маргарин, майонез Подогрев молока, воды	Конденсат, вторичный пар Θ = 90 – 120 °С	0,93	0,35
Саломас Гидрогенезация жиров	Тепло продукта, конденсат Θ = 70 – 100 °С	1,03	0,4
Глицерин Дистилляция жирных кислот	Паровоздушная смесь, конденсат, Θ= 110°С	3,09	1,3
Мыло Разогрев жиров, сушка мыла	Парогазовая смесь, конденсат Θ = 90 °С	0,73	0,3
Машиностроение			
Сталь Мартеновская печь (емкость 18 –90 т садки)	Уходящие газы Θ = 500 – 800 °С запыленность 10 – 15 г/м^3	0,4 – 0,5 (после рекуператора)	0,37
	Охлаждение конструкции Θ = 40 °С Θ = 190 – 250 °С p = 3,5 – 1,8 ата	–	0,29
Нагрев заготовок Нагревательная печь производительностью 300 – 20000 кг/ч	Уходящие газы Θ = 600 – 1300 °С (после печи) Θ = 300 – 700 °С (после рекуператора)	–	0,3 – 0,7 0,2 –0,5

Таблица 13.4

Структурная схема выработки и использования ВЭР на предприятии черной металлургии

Вид производства, агрегаты	Виды ВЭР	Процесс, вид побочного продукта	Установка ВЭР, виды энергоносителей
Доменное производство	Горючие	Доменный газ	Топливо
	Тепловые	Охлаждение	СИО (пар)
	Избыточного давления	Энергия газа	ГУБТ (электроэнергия)
Мартеновские печи	Тепловые	Отходящие газы	Котлы-утилизаторы (пар)
		Охлаждение	СИО (пар)
Кислородные конверторы	Тепловые	Отходящие газы	Охладители конверторных газов (пар)
	Горючие	Конверторный газ	Топливо
Нагревательные печи прокатного производства	Тепловые	Отходящие газы	Котлы-утилизаторы (пар)
		Охлаждение	СИО (пар)
Коксовые батареи	Горючие	Коксовый газ	Топливо
	Тепловые	Отходящие газы	УСТК (пар и электроэнергия)
Обжиговые печи	Тепловые	Отходящие газы	Котлы-утилизаторы (пар)

Главными преимуществами котлов МПЦ, обусловившими их широкое применение в качестве котлов-утилизаторов, являются:

1) применение труб малого диаметра (20 – 30 мм), обеспечивающих в условиях преимущественно конвективной передачи тепла максимальные значения коэффициентов теплопередачи;

2) компоновка испарительных поверхностей нагрева в виде змеевиковых пакетов, обусловливающая компактность установки и возможность блочного изготовления и монтажа, что особенно важно при размещения котлов в неприспособленных для этого помещениях производственных цехов [45].

Кроме того, нагревательные печи, как правило, оборудованы системой охлаждения отдельных элементов конструкции, работающих в тяжелых температурных условиях. Обычно охлаждение элементов достигается за счет пропуска через их внутреннюю полость воды, отнимающей тепло, поглощаемое конструкцией. Так работают фурмы доменных печей, кессо-

ны мартеновских печей, глиссажные трубы методических печей и др.

Потери тепла с охлаждающей водой составляют заметную величину в тепловом балансе любой металлургической печи. Например, в мартеновских печах эти потери составляют до 15 – 20 % от всего расходуемого на печь тепла.

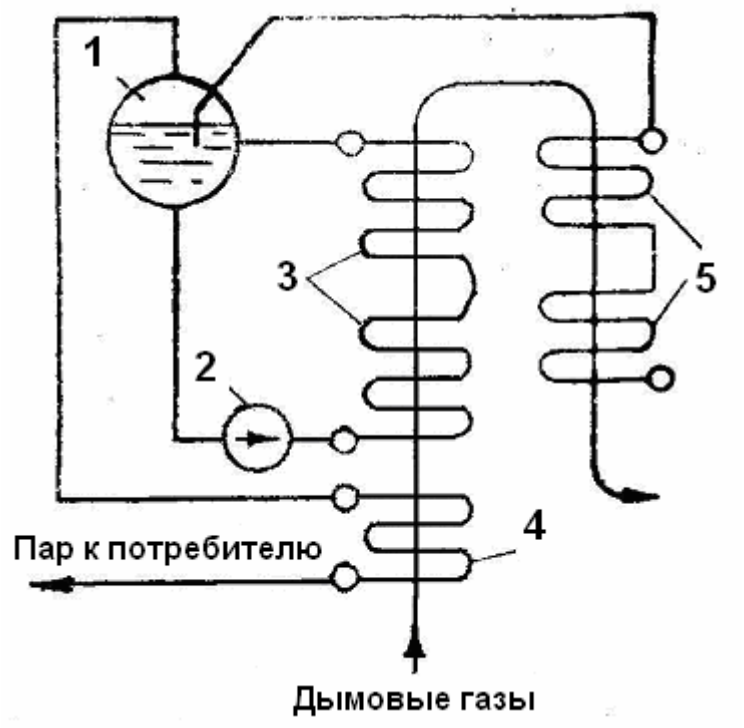


Рис. 13.2. Принципиальная схема котла с многократной циркуляцией (МПЦ):
1 – барабан; 2 – циркуляционный насос; 3 – испарительная поверхность; 4 – пароперегреватель; 5 – водяной экономайзер

Количество тепла, уносимое охлаждающей водой, может быть значительно уменьшено посредством изоляции охлаждаемых элементов. Например, изоляция лобовой поверхности кессонов мартеновской печи снижает потерю тепла через них в 2 – 3 раза. К сожалению, в условиях работы сталеплавильных печей стойкость современных изоляционных материалов невелика и устройство эффективной, длительно работающей изоляции охлаждаемых элементов связано с очень большими, часто непреодолимыми трудностями [45].

Наиболее целесообразным способом использования тепла охлаждающей воды является организация испарительного охлаждения, при котором в охлаждаемом элементе происходит частичное испарение охлаждающей воды. Вследствие использования скрытой теплоты парообразования разность $i_2 - i_1$ возрастает до 2300 – 2500 Дж/кг (550 – 600 ккал/кг) и расход воды сокращается в десятки раз. Пар, получаемый из системы испарительного охлаждения, значительно легче использовать, чем горячую воду.

Количество получаемого в системе испарительного охлаждения пара D может быть подсчитано по формуле, кг/ч:

$$D = Q/(i_2 - i_1),$$

где Q – количество отводимого тепла, Дж/ч (ккал/ч); i_2 – энтальпия получаемого насыщенного пара, Дж/кг (ккал/кг); i_1 – энтальпия питательной воды, Дж/кг (ккал/кг).

Повышение температуры охлаждающей среды и стенки детали не имеет существенного значения, так как при нагреве стали до температуры 350 °С механические свойства ее практически не изменяются.

Резкое уменьшение расхода охлаждающей воды делает рентабельным питание системы химически очищенной водой, благодаря чему срок службы охлаждаемых элементов увеличивается в несколько раз. Образование пара внутри охлаждаемого элемента вызывает в контуре системы испарительного охлаждения (рис. 13.3) естественную циркуляцию. Движущей силой циркуляции является разность давления Δp, Н/м^2, столба воды и столба пароводяной смеси высотой H, м:

$$\Delta p = gH(\rho_в - \rho_п),$$

где $\rho_в$, $\rho_п$ – плотность воды и пароводяной смеси, кг/м^3; g – ускорение силы тяжести, м/с^2.

На металлургических и машиностроительных предприятиях тепловые ВЭР сравнительно высоких параметров образуются в основном в мар-

теновских, нагревательных и термических печах в виде теплоты уходящих газов и теплоты охлаждения установок, печей, продукции. Кроме того, низкопотенциальная теплота содержится в отработанном паре, образующемся в процессе работы прессов и молотов [41].

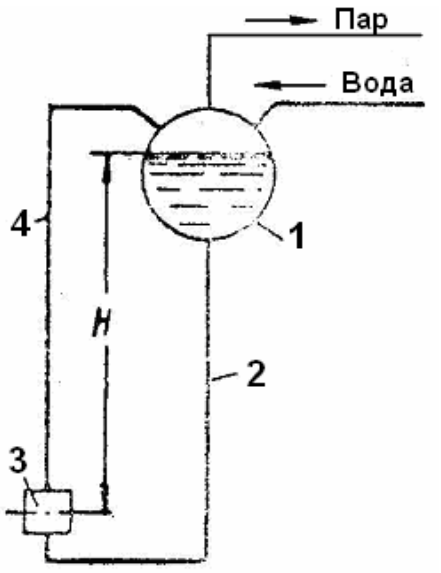


Рис. 13.3. Схема контура системы испарительного охлаждения:
1 – барабан-сепаратор; 2 – опускной трубопровод;
3 – охлаждаемый элемент; 4 – подъемный трубопровод

Доменные газы, имеющие теплоту сгорания около 4000 кДж/м^3, относятся к горючим ВЭР, но поскольку они обладают давлением выше атмосферного (до 0,3 МПа), то могут быть использованы как ВЭР с избыточным давлением в газовой бескомпрессорной утилизационной турбине для выработки дополнительной электроэнергии или привода воздуходувок. При водяном охлаждении доменных печей и металлоконструкций можно получить значительное количество низкопотенциальной теплоты (с температурой 15 – 20 °С). Метод испарительного охлаждения при сокращении расхода воды и электроэнергии на ее перекачку позволяет выработать пар низкого давления (до 0,8 МПа), используемый для нужд теплоснабжения.

Температура уходящих газов воздухонагревателей доменных печей колеблется в пределах 150 – 600 °С, температура уходящих газов кауперов достигает 250 – 500 °С. Их теплота может быть использована для выработ-

ки пара, горячей воды или для подогрева доменного газа. Перспективно использование теплоты шлаков, которые в цветной металлургии выходят с температурой до 1300 °С и уносят до 15 – 70 % общей теплоты. В черной металлургии значительные отходы теплоты образуются в агломерационном и ферросплавном производствах (средняя температура шлаков колеблется в пределах 500 – 550 °С).

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

В промышленности строительных материалов тепловые ВЭР образуются при обжиге цементного клинкера и керамических изделий, производстве стекла, кирпича, извести, огнеупоров, выплавке теплоизоляционных материалов. К ним относится физическая теплота уходящих газов различных печей (туннельных, шахтных, вращающихся и т.д.).

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

Как уже отмечалось, вторичные энергоресурсы имеются также на тепло- и гидроэлектростанциях. На гидроэлектростанциях отходы теплоты образуются в результате тепловыделения в электрогенераторах. Для тепловых электростанций наиболее существенный источник ВЭР – низкопотенциальная теплота нагретой охлаждающей воды конденсационных устройств, с которой может теряться до 50 % теплоты топлива, расходуемого

на электростанции. Источником ВЭР считаются также дымовые газы котельных установок на паротурбинных станциях или отходящие продукты сгорания газотурбинных установок [49].

Для охлаждающих установок источником тепловых ВЭР может служить нагретая охлаждающая вода из воздухоохладителей и регенеративных теплообменных аппаратов. Источником ВЭР может быть нагретая охлаждающая вода из системы охлаждения генераторов электростанций. Значительные тепловые отходы имеются и на АЭС: теплота конденсата, теплота охлаждающих систем и др.

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

13.4. Определение объемов выхода и использования ВЭР

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

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

Энергетический потенциал энергоносителей определяется :

- для горючих ВЭР – низшей теплотой сгорания $Q^{\text{р}}_{\text{н}}$;
- для тепловых ВЭР – перепадом энтальпий Δh;
- для ВЭР избыточного давления – работой изоэнтропного расширения l.

В качестве единиц измерения потенциала приняты единицы измерения энергии – килоджоуль, киловатт.

Единицами измерения количества энергоносителя служат единицы массы – килограмм (кг), тонна (т); для газообразных теплоносителей – единицы объема – кубический метр при нормальных физических условиях ($м^3$ при н.у., $нм^3$): $P = 760$ мм рт. ст. и $t = 0°C$.

Удельный общий выход ВЭР определяется по формулам, кДж/ч:

для горючих ВЭР

$$q_г = m \cdot Q^p_н; \tag{13.1}$$

для тепловых ВЭР

$$q_т = m \cdot c \cdot (t - t_o) = m \cdot \Delta h; \tag{13.2}$$

для ВЭР избыточного давления

$$q_и = m \cdot l. \tag{13.3}$$

Общий объем выхода ВЭР:

$$Q_{вых} = q \cdot M \tag{13.4}$$

или

$$Q_{вых} = q_ч \cdot \tau. \tag{13.5}$$

Здесь m – удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, кг ($м^3$)/ч; Δh – располагаемый перепад энтальпий энергоносителя, кДж/кг; l – работа изоэнтропного расширения, кДж/кг; $Q_{вых}$ – общий объем выхода ВЭР за рассматриваемый период, кДж; M – выход основной продукции или расход сырья (топлива) за рассматриваемый период; τ – число часов работы установки-источника ВЭР за указанный период; q – удельный выход ВЭР в процентах к выходу основной продукции или расходу сырья; $q_ч$ – часовой удельный выход ВЭР, определяемый по формулам (13.1) – (13.3).

Иногда в практических расчетах удельный и общий объем выхода ВЭР относят не к единице времени, а к единице продукции: кДж / единицу продукции, процент / единицу продукции.

Низшую теплоту сгорания горючих ВЭР $Q^р_н$ определяют экспери-

ментальным путем или по известным в теплотехнике формулам в зависимости от элементарного состава.

Перепад энтальпий Δh для тепловых ВЭР определяется в зависимости от температуры энергоносителя на выходе из агрегата (источника ВЭР), а также от температуры окружающей среды. В расчетах обычно определяют средний выход ВЭР для установившегося технологического режима.

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

$$Q_{\text{вых}} = q \cdot \text{П} \cdot 10^{-6}, \qquad (13.6)$$

$$Q_{\text{вых}} = q_{\text{ч}} \cdot \tau \cdot 10^{-6}, \qquad (13.7)$$

где q – удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции; П – выпуск основной продукции (расход сырья, топлива), к которой отнесен удельный выход ВЭР, за рассматриваемый период, единица продукции; $q_{\text{ч}}$ – часовой выход ВЭР, кДж/ч; τ – время работы агрегата-источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

Основные качественные параметры ВЭР промышленных предприятий приведены в табл. 13.5, а по ВЭР электростанций – в табл. 13.6.

Таблица 13.5

Параметры ВЭР промышленных предприятий

Первичные энергетические ресурсы	ВЭР	
	Разновидности энергоресурсов	Характеристика, качественные параметры
1	2	3
Твердое, жидкое, газообразное топливо или электроэнергия для обслуживания технологических высокотемпературных процессов (промышленные печи) и охлаждающая вода	1. Отходящие горючие газы коксовых и доменных печей: а) коксовый газ – продукт выжига кокса в коксовых печах	а) Теплота сгорания: $Q^{\text{P}}_{\text{Н}} \approx 16800$ кДж/м^3 Состав газа: CO_2 = 2 – 4 %; CO = 6 – 8 %; H_2 = 55 – 62 %; CH_4 = 24 – 28 %; этилен, пропилен и др. - 2 – 3 %; N_2 = 3 – 2 %; O_2 = 0,4 – 0,8 %, плотность 0,4 – 0,55 кг/м^3. Взрывоопасен.

Продолжение табл. 13.5

1	2	3
	б) доменный газ – побочный продукт доменного производства; получается в результате неполного сгорания кокса	б) Q^{P}_{H} = 3350 – 4610 кДж/м^3 Состав газа: CO_2 =10 – 12,5 %; CO = 28,5 –30,5 %; H_2 =1,5 – – 3,8 %; N_2 = 58 – 59,5 %; O_2 = 0,1 – 0,2 %, плотность 1,28 – 1,3 кг/м^3, теоретическая температура горения 1430 – – 1500 °С, для сжигания 1 МДж газа требуется теоретически необходимое количество кислорода 0,19 м^3
	в) ферросплавный газ – выплавка ферросплавов в электропечах	в) Q^{P}_{H} = 11300 кДж/м^3 Состав газа: CO = 85 %; H_2 = 4 %; N_2 = 5,6 %; O_2 = 1 %; CO_2 = 3 %; сероводород = 0,4 % Высокотоксичный, взрывоопасный газ
	2. Отходящие горючие газы предприятий нефтяной промышленности	$Q^{P}_{н}$ = 41,87 – 62,8 МДж/м^3
	3. Отходящие горячие газы промышленных печей	$t_{о.г} \geq$ 500 – 1000 °С
	4. Нагретая охлажденная вода и пар испарительного охлаждения промышленных печей	$t_{о.в} \leq$ 95 °С $p_{и.о}$ = 1,6 – 4 атм.
	5. Тепло, выделяемое расплавленными металлами, коксом и шлаками промышленных печей	$t_{отх}$ > 1000°С
Газ и жидкое топливо для обслуживания технологических силовых процессов (с двигателями внутреннего сгорания воздуходувных, компрессорных и других агрегатов) и охлаждающая вода	1. Горячие газы, отходящие из двигателей внутреннего сгорания	$t_{о.г}$ = 350 – 600 °С
	2. Нагретая охлаждающая вода, отходящая из двигателей внутреннего сгорания	$t_{о.в}$ < 100 °С

Окончание табл. 13.5

1	2	3
Горючее и технологическое сырьё (на предприятиях металлургической, деревообрабатывающей, текстильной, пищевой и других отраслях промышленности)	Горючие твёрдые и жидкие отходы производства	$Q^{\text{Р}}_{\text{н}}$ = 41,87 МДж/кг
Пар для обслуживания технологических силовых (в молотовых, прессовых и штамповочных агрегатах) и нагревательных процессов	1. Отработавший производственный пар	$p_{\text{о.п}}$ = 1,3 – 1,5 атм
	2. Вторичный производственный пар	$p_{\text{в.п}}$ = 1 атм
	3. Конденсат пара, используемого для нагревательных целей (горячая сливная вода)	t < 100 °С
	4. Внутренние тепловыделения в производственных помещениях	t < 100 °С
Горячая вода для бытового теплопотребления	Сливная загрязненная вода	t < 50 °С
Электроэнергия, обслуживающая силовые, термические и осветительные процессы	Внутренние тепловыделения в производственных помещениях	t < 100 °С
	Сливная нагретая вода производственных агрегатов	t < 100 °С

Таблица 13.6

Характеристика вторичных энергетических ресурсов электростанций

ВЭР	Качественные параметры энергоресурсов
1. Тепловые электростанции	
Нагретая охлаждающая вода конденсационных устройств турбин	$t_{\text{в}} \le$ 25 – 30 °С
Отходящие дымовые газы котлоагрегатов	$t_{\text{о.г}} \ge$ 100 °С
Отходящие газы и нагретая охлаждающая вода газотурбинных электростанций	$t_{\text{о.г}} \ge$ 100 °С
Нагретая охлаждающая вода из системы охлаждения электрических генераторов	$t_{\text{в}} >$ 25 – 30 °С
2. Гидроэлектростанции	
Нагретая охлаждающая вода из системы замкнутого охлаждения электрических генераторов	$t_{\text{в}} >$25 – 30 °С
Нагретый воздух из системы разомкнутого воздушного охлаждения электрических генераторов	$t_{\text{в}} \le$ 60 – 65 °С

Выполним расчет выхода и фактической выработки ВЭР для металлургического завода с полным технологическим циклом.

Состав основного оборудования:

- Аглофабрика с двумя аглолентами, площадь спекания 80 м^2. Возможная мощность по агломерату 1140 тыс. т/год.
- Доменный цех с тремя работающими домнами с суммарным объемом 620 м^3. Производство чугуна 500 тыс. т/год.
- Мартеновский цех с четырьмя мартеновскими печами. Объем производства до 900 тыс. т стали в год.
- Прокатное производство, в составе которого имеются три нагревательные печи. Объем обрабатываемого металла 600 тыс. т/год.

Фактическая выработка ВЭР составила:

- Горючие ВЭР (доменный газ) – 112 000 т у.т./год.
- Тепловые ВЭР (пар) – 53 500 т у.т./год.

Расчет выполним по укрупненным показателям выхода и использования ВЭР на заводе черной металлургии [45], а также с учетом данных табл. 13.3.

- Удельный выход горючих ВЭР в доменных печах примем 3800 м^3 [45] доменного газа на 1 т чугуна при теплоте сгорания газа 4187 кДж/м^3. Следовательно, выход горючих ВЭР составит

$$(3800 \cdot 4187) : 29310 \approx 540 \text{ кг у.т./т чугуна.}$$

- Удельный выход тепловых ВЭР в мартеновских печах (физическая теплота дымовых газов и испарительное охлаждение конструкций печи) составляет около 0,37 Гкал/т стали (53 кг у.т./т стали) – табл. 13.3.

- Удельный выход тепловых ВЭР в нагревательных печах (физическая теплота дымовых газов) составляет около 0,1 Гкал/т (14 кг у.т./т) – табл. 13.3.

Возможная выработка ВЭР составит при указанных выше номинальных объемах производства металла (13.4):

– доменный газ: 0,54 · 500 000 = 270 000 т у.т./год;

– тепловая энергия:

0,053 · 900 000 + 0,014 · 600 000 = 56 100 т у.т./год.

Итоги деятельности металлургического завода

Выход ВЭР	Выработка ВЭР, т у.т.		Соотношение выработки ВЭР, %
	возможная	фактическая	
Горючие	270 000	112 000	41,5
Тепловые	56 100	53 500	95,3
Общий объем ВЭР	326 100	165 500	50,7

Фактическое использование ВЭР составило половину возможного их выхода по заводу.

13.5. Определение экономии топлива за счет использования ВЭР

Экономия топлива в целом зависит от направления использования ВЭР и схемы энергоснабжения предприятия, где они используются. Различают направления: тепловое, электроэнергетическое, топливное и комбинированное.

При *тепловом* направлении использования и раздельной схеме энергоснабжения предприятия экономию топлива $B_{эк}$, т у.т., определяют по формуле

$$B_{эк} = b_з \cdot Q_и = b_з \cdot Q_т \cdot \delta, \qquad (13.8)$$

где $b_з$ – удельный расход топлива на выработку теплоэнергии в замещаемой котельной установке, т у.т./ГДж (Гкал); $Q_и$ – использование тепловых ВЭР, ГДж (Гкал); $Q_т$ – выработка тепловой энергии за счет ВЭР в утилиза-

ционной установке, ГДж (Гкал); δ – коэффициент использования тепловой энергии, выработанной за счет ВЭР.

При использовании ВЭР для получения холода в абсорбционных холодильных установках экономию топлива можно определить по формуле (13.8), подставляя вместо $Q_и$ количество выработанного холода $Q_х$, деленное на холодильный коэффициент:

$$B_{эк} = b_з \cdot Q_х/ε. \qquad (13.9)$$

При *электроэнергетическом* направлении использования ВЭР экономия топлива равна, кг у.т. (т у.т.):

$$B_{эк} = b_з \cdot W, \qquad (13.10)$$

где $b_з$ – удельный расход топлива на выработку электроэнергии в замещаемой электростанции, кг у.т. (т у.т.)/ кВт·ч; W – выработка электрической энергии, кВт·ч.

При *топливном* направлении использования горючих ВЭР экономия топлива определяется из выражения

$$B_{эк} = B_и \cdot \eta_{ВЭР}/\eta_т. \qquad (13.11)$$

Здесь $B_и$ – величина использования горючих ВЭР, т у.т.; $\eta_{ВЭР}$ – КПД топливоиспользующего агрегата при работе на горючих ВЭР; $\eta_т$ – КПД того же агрегата при работе на первичном топливе.

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

Обобщенная схема расчетов экономии топлива при использовании ВЭР представлена на рис. 13.4.

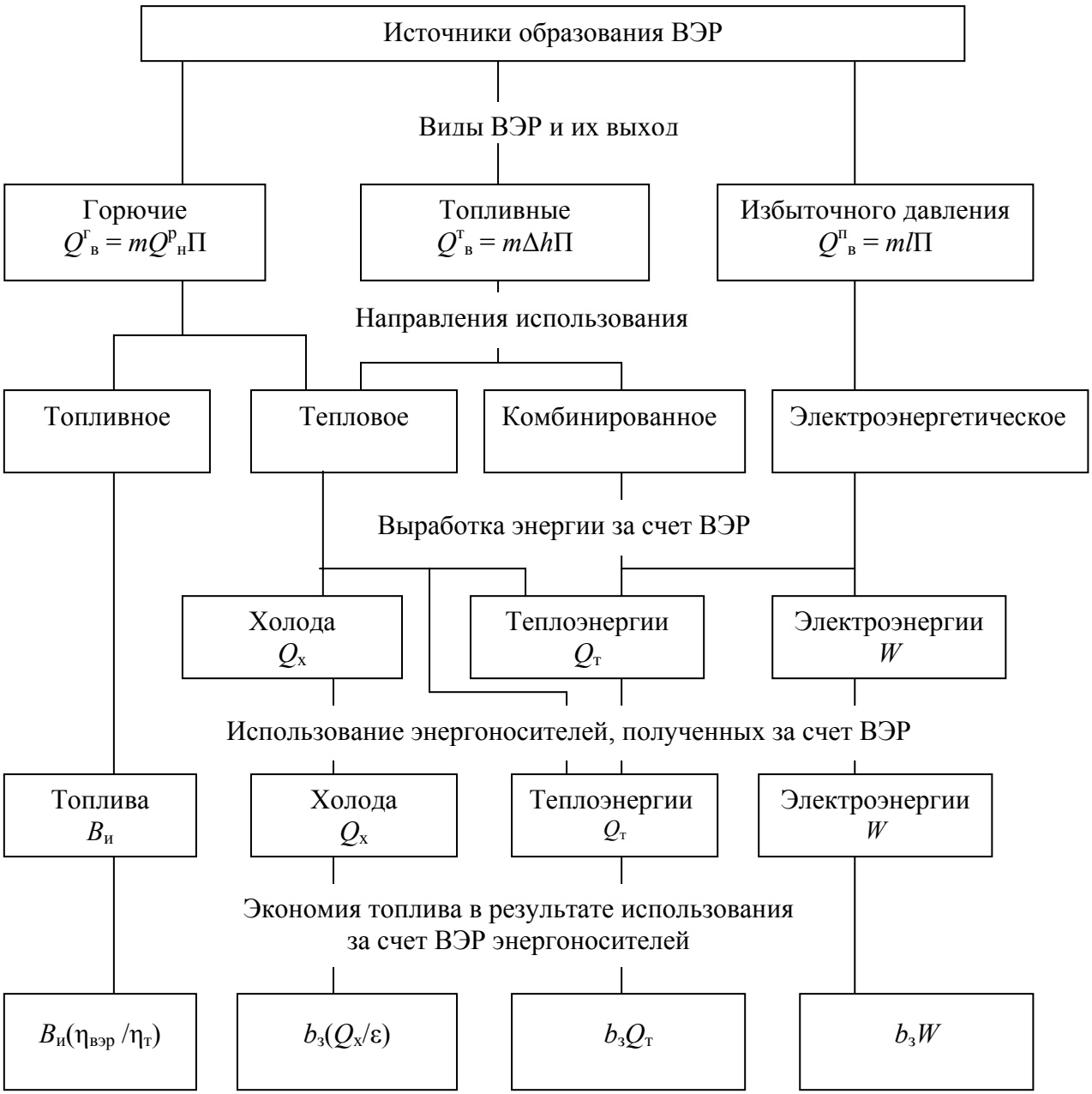


Рис. 13.4. Схема расчета экономии топлива за счет использования вторичных энергоресурсов

Однако приведенная выше схема расчетов не дает возможности сравнения мероприятий по их эффективности. Оценку их инвестиционной эффективности можно провести по следующей формуле [47]:

$$ЗР + З_э < В_{эк}Ц,$$

где З – затраты на осуществление мероприятий, руб.; Р – уровень рента-

бельности производственных фондов; $З_э$ – эксплуатационные расходы при использовании данного мероприятия (условно-постоянные, без стоимости затрат энергии), руб.; $В_{эк}$ – возможная экономия топлива после внедрения мероприятий, отнесенная к первичному топливу, т($м^3$); Ц – цена данного вида топлива, руб. (т/$м^3$).

По разности $В_{эк}Ц – (ЗР+З_э)$ можно оценить возможную прибыль и провести сравнение вариантов по их эффективности.

В табл. 13.7 приведены обобщенные показатели использования ВЭР в некоторых отраслях промышленности [46].

Таблица 13.7

Возможное повышение степени использования вторичных энергоресурсов

Агрегаты – источники ВЭР	Мероприятие	Возможная экономия топлива, энергии
1	2	3
Нефтеперерабатывающая промышленность		
Трубчатые печи	Утилизация тепла уходящих газов печей	20 – 50 тыс. ккал/т сырья
Установка ГФУ-82	Использование тепла конденсации паров бутановой и изобутановой колонн для нагрева низа изобутановой колонны	82 тыс. Гкал/год
ЛГ-35/11-300 (каталитический риформинг)	Обогрев низа колонны теплом бензиновой фракции	5,3 тыс. Гкал/ч
Машиностроение		
Нагревательные печи (производительностью 300 – 20000 кг/ч)	Утилизация физического тепла уходящих газов при помощи котлов-утилизаторов, подогревателей воздуха	Топливо – до 20 – 25 %
Термические печи (производительностью 150 – 9000 кг/ч)	Утилизация физического тепла уходящих газов при помощи котлов-утилизаторов, подогревателей воздуха	Топливо – до 15 – 20 %
Нагревательные и термические печи	Использование тепла уходящих газов для нагрева воздуха тепловых завес	До 50 % от теплозатрат на тепловые завесы

Продолжение табл. 13.7

1	2	3
Паровые прессы и молоты	Утилизация тепла отработанного пара в утиль-бойлерных, отопительных установках	Теплоэнергия – до 75%
Промышленность строительных материалов		
Стекловаренные печи	Внедрение термосифонных котлов- утилизаторов (ТКУ) за печами небольшой мощности	50 – 70 т у.т./год на один котел
Стекловаренные печи	Внедрение котлов-утилизаторов типа Г-1030Б, Г-345, КУ-16, КУ-40 за крупными печами	2 – 33 тыс. т у.т./год на один котел
Стекловаренные печи	Внедрение утилизационных водонагревателей НИИСТа теплопроизводительностью 0,3 – 1,1 МВт	190 – 170 т у.т./год на одну установку
Вращающиеся печи для обжига керамзита	Использование тепла уходящих газов при снижении их температуры с 600 до 300 °С для подогрева дутьевого воздуха	Снижение удельного расхода топлива на 34 %
Туннельные печи для обжига глиняного кирпича	Использование тепла уходящих газов для сушки кирпича	Снижение удельного расхода топлива на 15 – 20 %
Автоклавы для пропарки силикатного кирпича	Перепуск пара из одного автоклава в другой	Тепло – 23 %
Щелевые и роликовые печи для обжига	Использование тепла уходящих газов для нагрева воды	0,3 – 0,5 кг у.т./м^3
Пищевая промышленность		
Агрегаты непрерывного разваривания крахмалистого сырья производительностью 3000 дал /сут	Внедрение утилизатора тепла экстрапара	225 т у.т./год на одну установку
Дефлегматоры брагоректификационных установок 3000 дал/сут	Внедрение комплекса аппаратов для утилизации тепла дефлегматорной воды	136 т у.т./ год на одну установку
Выпарные станции спиртового цеха	Внедрение термосифонных подогревателей для подогрева спиртовой бражки за счет тепла кислого конденсата	9 Гкал/ч
Брагоректификационные установки производительностью 3000 дал/сут	Внедрение пароинжекционных установок для утилизации тепла барды и лютерной воды	42 т у.т./год

Окончание табл.13.7

1	2	3
Пивобезалкогольная отрасль		
Солодосушилки производительностью 20 т/сут	Использование тепла отходящих газов от топок солодосушилок	30 т у.т./тыс. т на одну установку
Охладители сусла	Использование тепла отходящей воды в технологическом процессе	62 т у.т./млн. дол.
Масложировая отрасль		
Линия экстракции масла производительностью 500 – 1000 т/сут	Использование тепла горячего масла от дистиллятора 3-й ступени для подогрева воды	95 т у.т./год
Линия гидрогенизации жиров	Использование тепла саломаса после гидрогенизации для нагрева жиров и масел	20 т у.т./год

13.6. Принципиальные схемы использования низкопотенциальной теплоты

Балансовые соотношения для определения удельных объемов выхода ВЭР приведены в разд. 13.4. Возможные схемы использования отработанного пара для теплофикации и выработки электроэнергии приведены на рис. 13.5, 13.6.

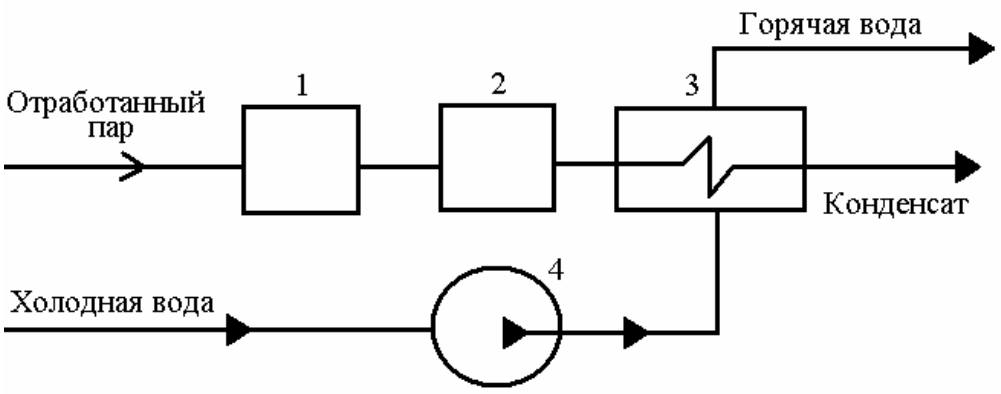


Рис.13.5. Схема использования отработанного пара в поверхностном подогревателе: 1 – маслоуловитель; 2 – аккумулятор; 3 – поверхностный теплообменник; 4 – питательный насос

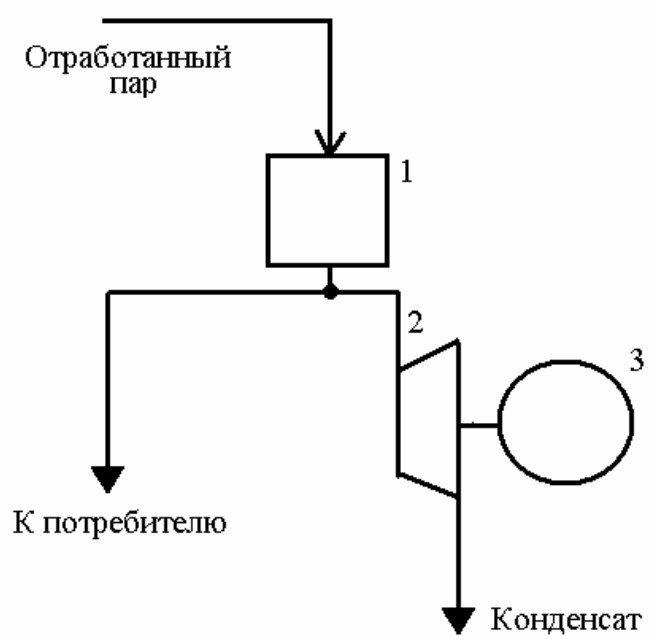


Рис. 13.6. Схема комплексного использования отработанного производственного пара:
1 – очиститель пара; 2 – турбина; 3 – электрогенератор

Заслуживает внимания использование вторичного пара, который получается либо в результате вторичного вскипания перегретой воды при расширении ее от давления p_1 до p_2 ($p_2 < p_1$), либо в выпарных установках при кипении каких-либо растворов. Поскольку вторичный пар в зависимости от способа его получения имеет p = 0,15 – 0,7 МПа и выше, то утилизация его целесообразна.

На рис. 13.7 и 13.8 представлены схемы получения пара вторичного вскипания. Нагретая вода из котла, или вода непрерывной продувки (рис. 13.7), или вода из системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания (ДВС) после дополнительного подогрева в котле-утилизаторе (рис. 13.8) направляется в сепаратор, где при снижении давления получается вторичный пар, используемый для технологических целей, а оставшаяся горячая вода используется для нагрева теплоносителя в теплообменнике.

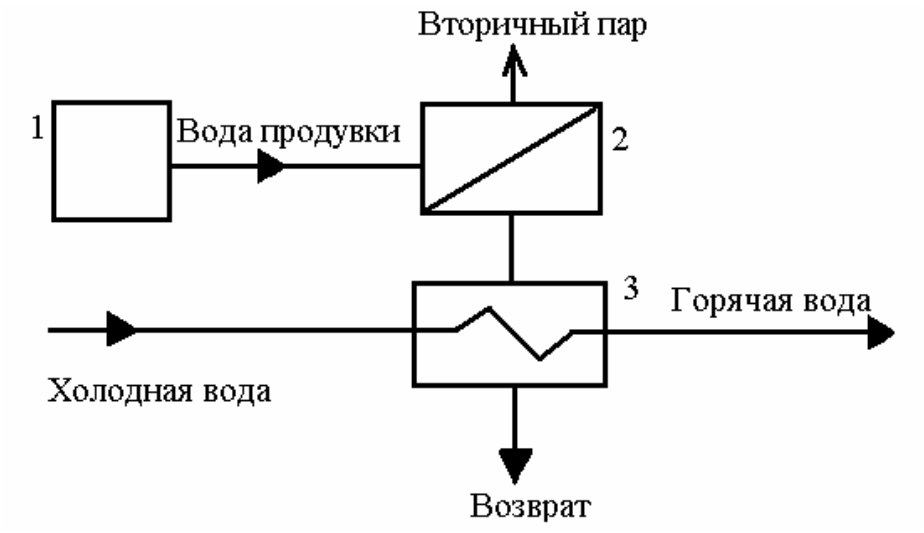


Рис. 13.7. Схема получения пара вторичного вскипания из воды непрерывной продувки котлов: 1 – котел; 2 – сепаратор; 3 – поверхностный теплообменник

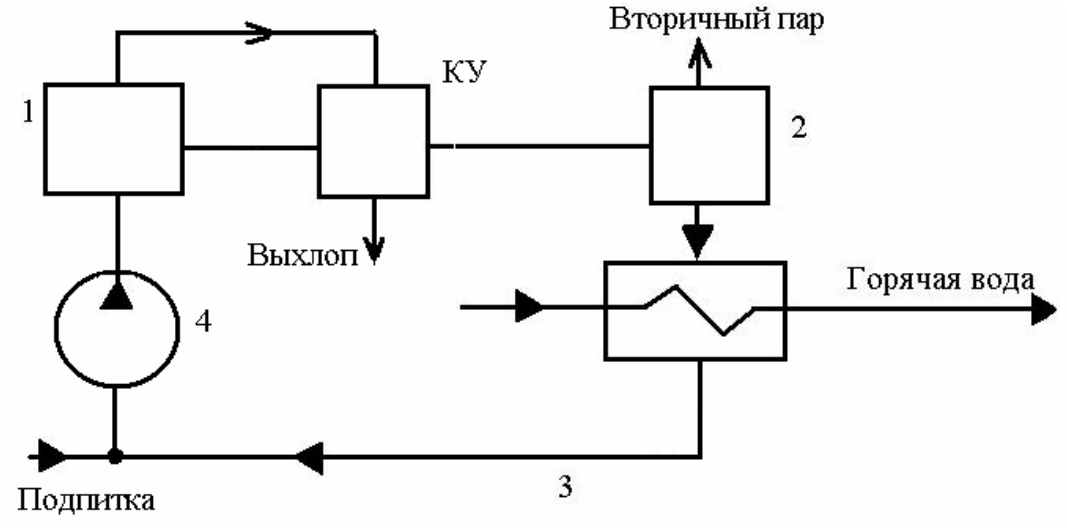


Рис. 13.8. Схема получения пара вторичного вскипания из воды системы высокотемпературного охлаждения двигателя внутреннего сгорания: 1 – двигатель; 2 – сепаратор; 3 – поверхностный теплообменник; 4 – циркуляционный насос; КУ – котел-утилизатор

Представляет интерес использование теплоты конденсата, нагретой производственной и бытовой сливной воды, вентиляционных выбросов.

Одна из возможных схем использования нагретой производственной воды представлена на рис. 13.9.

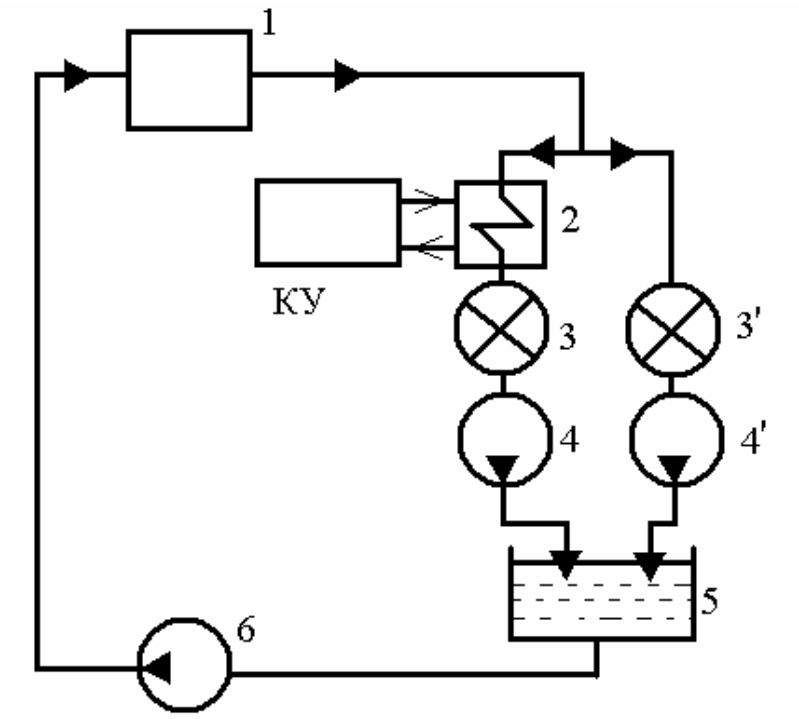


Рис. 13.9. Схема использования теплоты охлаждающей воды для теплоснабжения потребителей

Согласно этой схеме охлаждающая вода, имеющая температуру 80 – 90 °С, подается из ее источника (агрегат 1) частично в водоподогреватель 2 для последующего использования потребителем теплоты 3, а частично – непосредственно к потребителям 3'. Подогреватель 2 питается паром, поступающим из котла-утилизатора КУ. От теплопотребителей вода насосами 4, 4' собирается в баке 5, после чего насосами 6 подается в систему охлаждения агрегата 1.

Известно, что сбор и возврат конденсата – важный источник экономии теплоты, а следовательно, и топлива. Практика работы показывает, что рациональная организация сбора и использования конденсата дает экономию, исчисляемую сотнями тысяч тонн условного топлива в год. Различные схемы сбора конденсата и утилизации его теплоты показаны на рис. 13.10 и 13.11.

Заметная экономия может быть получена и за счет утилизации теплоты вентиляционных выбросов предприятий при использовании воздухо-воздушных теплообменников или другого серийного оборудования для подогрева приточного воздуха.

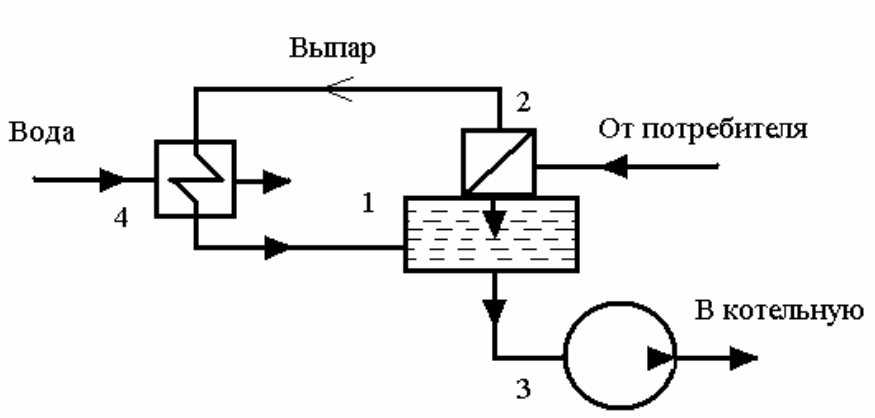


Рис. 13.10. Закрытая схема сбора конденсата
со встроенным сепаратором:
1 – бак; 2 – сепаратор; 3 – насос; 4 – теплообменник

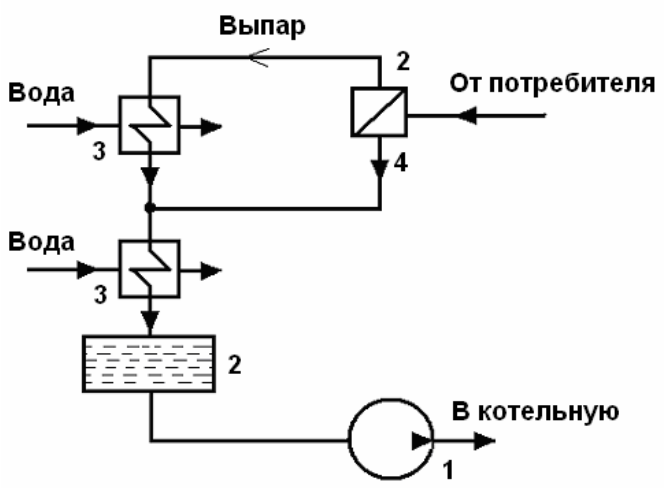


Рис. 13.11. Закрытая схема сбора конденсата
с внешним сепаратором:
1 – насос; 2 – бак; 3 – теплообменник; 4 – сепаратор

13.7. Примеры практической реализации экономии ВЭР

Схемные вопросы использования ВЭР

Балансовые соотношения по экономии топлива за счет использования ВЭР приведены в разд. 13.5.

На рис. 13.12 представлена двухступенчатая схема комплексного использования теплоты в литейном цехе. Газ сжигается в термической печи 1, затем продукты сгорания направляются в сушилку 2, где осуществляется сушка изделий при температуре 160 °С. КПД установки 85 %.

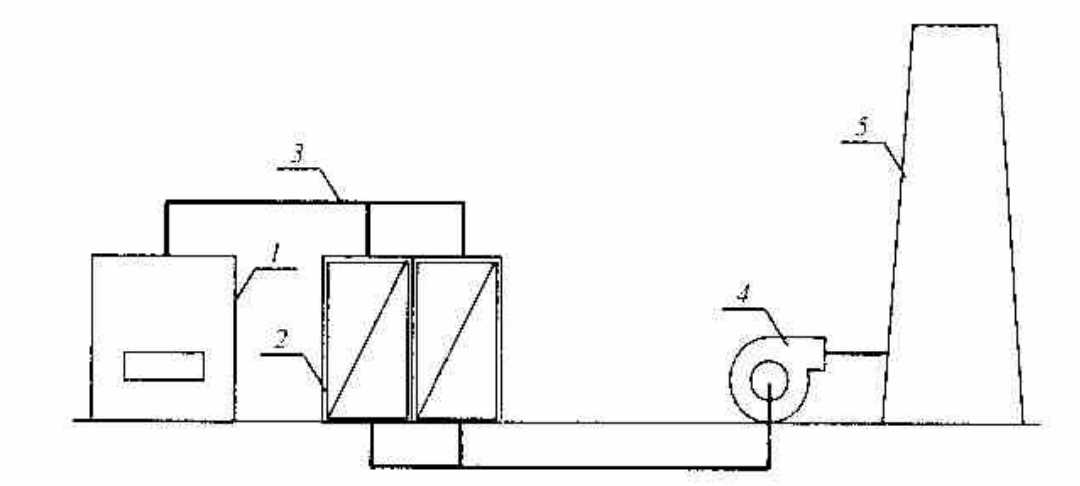


Рис. 13.12. Двухступенчатая схема комплексного использования теплоты:
1 – печь; 2 – сушилка; 3 – газоходы; 4 – дымосос; 5 – дымовая труба

На рис. 13.13 приведена трехступенчатая схема комплексного использования теплоты в термическом цехе. Природный газ сжигается в технологической печи 1. Отводимые из нее газы имеют температуру около 800 °С и используются последовательно сначала в терморадиационной сушильной камере 2, а затем в печи низкого отпуска 3. Коэффициент использования топлива установки около 82 %.

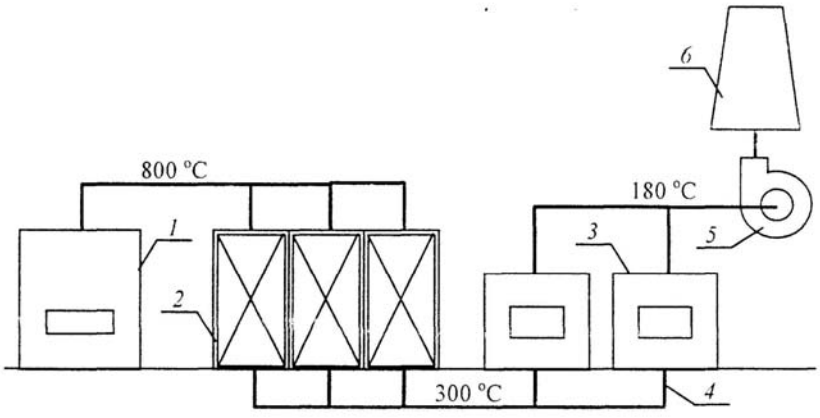


Рис. 13.13. Трехступенчатая схема комплексного использования теплоты:
1 – технологическая печь; 2 – терморадиационная сушильная камера; 3 – печь низкого отпуска; 4 – газоходы; 5 – дымосос; 6 – дымовая труба

На рис. 13.14 дана принципиальная схема использования ВЭР с применением контактного теплообменника (экономайзера) в окрасочном цехе.

Природный газ сжигается в трубчатом воздухонагревателе 1 для нагрева приточного воздуха систем вентиляции в холодный период года (в теплый период газ сжигается непосредственно в топках сушильных камер 3). Продукты сгорания природного газа с температурой 600 °С подаются в сушильные камеры 3, затем поступают в контактный водоподогреватель 4, предназначенный для подогрева воды для моечных камер, расположенных в цехе. Коэффициент использования топлива в схеме около 90 %.

В цехах, где количество выделяемых отходящих газов велико (кузнечные, термические цеха и т. п.), более перспективна схема, приведенная на рис. 13.15. Продукты сгорания из нагревательных печей 1 с температурой 1000 °С поступают в рекуператор 2 для подогрева воздуха, подаваемого на горение, до 300 °С, при этом температура продуктов сгорания понижается до 700 °С. Из рекуператора продукты сгорания поступают в чугунный теплообменник 3 для подогрева воздуха в системе приточной вентиляции. Температура уходящих газов после воздухоподогревателя около 300 °С. Для регулирования подогрева воздуха предусмотрено смешение нагретого воздуха с холодным. Затем продукты сгорания направляются в контактный водоподогреватель 4, служащий для нагрева воды, поступающей к моечным камерам. Коэффициент использования природного газа в данной схеме около 88 %.

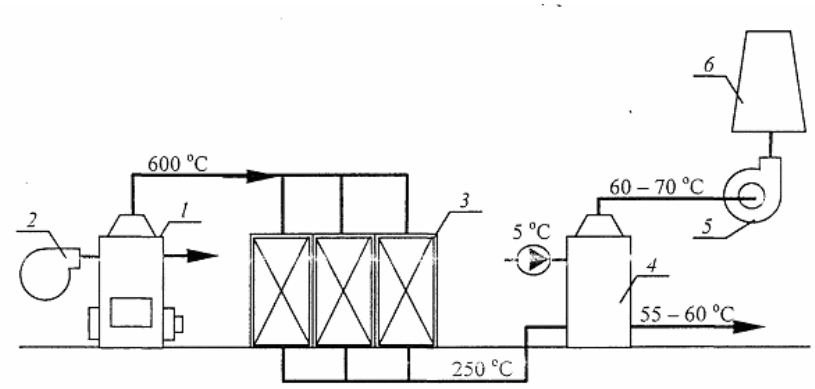


Рис. 13.14. Схема комплексного использования теплоты в окрасочном цехе:
1 – трубчатый воздухонагреватель; 2 – вентилятор приточной вентиляционной системы; 3 – терморадиационные сушильные камеры; 4 – контактный водонагреватель; 5 – дымосос; 6 – дымовая труба

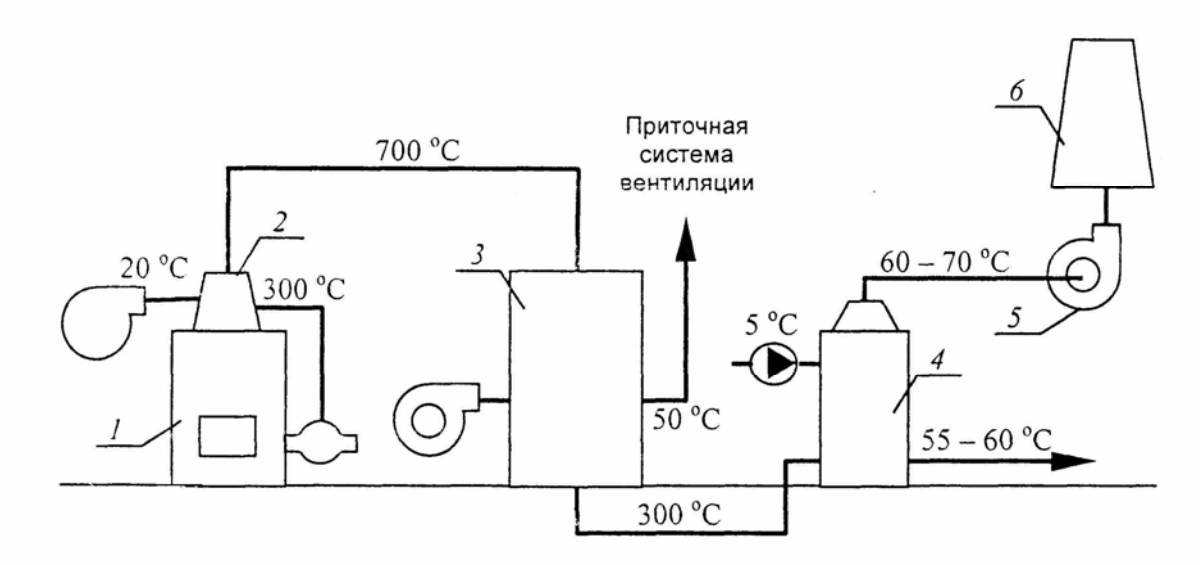


Рис. 13.15. Схема комплексного использования теплоты в кузнечно-термическом цехе:
1 – нагревательная печь; 2 – рекуператор; 3 – воздухонагреватель в системе вентиляции; 4 – контактный экономайзер; 5 – дымосос; 6 – дымовая труба

Повышение эффективности использования пара установок ВЭР

Как правило, весь пар, который вырабатывается на установках ВЭР с давлением до 40 ати, вначале подается на редукционно-охладительные установки (РОУ), где большая часть давления пара безвозвратно теряется. На одном из предприятий Свердловской области была проведена реконструкция тепловой схемы установки сухого тушения кокса (УСТК) за счет подачи пара в противодавленческую турбину, которая не только выполняет роль РОУ, но и вырабатывает электроэнергию. В результате появилась возможность выработки около 2,5 – 3,5 МВт·ч электроэнергии за счет подачи в турбину пара до 130 т/ч для срабатывания его давления от 30 до 9 ати. В случае освоения данной схемы когенерации с выработкой тепловой и электрической энергии до 15 – 20 % необходимой электроэнергии будет вырабатываться за счет тепла ВЭР.

Использование конденсата пара

Для технических нужд и для отопления в больших масштабах используется пар. Вариантом рационального использования пара в подобных

случаях является установка конденсатоотводчиков. В этом случае исключаются проскоки пара при отводе конденсата, что приводит к сокращению расхода пара на 30 %. На одном из предприятий цветной металлургии успешно была реализована подобная схема утилизации тепла за счет использования конденсатоотводчиков типа РКД-3 с их установкой после калориферов тепловых завес и приточных систем в производственных корпусах. Особенность указанного типа конденсатоотводчиков в том, что они оборудованы регулировочным винтом, который обеспечивает возможность регулирования температуры отходящего конденсата.

Другая особенность подобных мероприятий – исключительно низкий срок окупаемости – от 1 до 3 месяцев, т. е. 0,15 года.

Опыт применения пароводяных элеваторов «ЭКОПАР»

В г. Миассе Челябинской области разработаны высокоэффективные устройства для утилизации отработанного пара. Данные устройства получили название магистральных пароводяных элеваторов «ЭКОПАР».

Назначение МПЭ «ЭКОПАР» – нагревание текущего потока воды путем инжектирования пара в водяную магистраль. КПД системы при внедрении МПЭ «ЭКОПАР» увеличивается до 99 %.

МПЭ «ЭКОПАР» разработаны для утилизации пара (в том числе низкопотенциального) после паровых машин (что исключает выброс пара в атмосферу) и для замены бойлеров в системах:

- нагрева воды перед химической очисткой;
- нагрева воды перед деаэрацией;
- горячего водоснабжения;
- отопления.

МПЭ может работать на неочищенной воде с содержанием твердой фазы с максимальным поперечным размером до 8 мм. «ЭКОПАР» обеспечивает стабильность технических характеристик и не требует регламентных работ и ремонта. МПЭ работает в широком диапазоне изменения рас-

ходов, давлений и температур при различных диаметрах трубопроводных систем, что обеспечивается заложенным в конструкцию «ноу-хау».

Принципиальная схема подключения элеватора «ЭКОПАР» приведена на рис. 13.16. Отличие МПЭ «ЭКОПАР» от трансзвуковых устройств: эффективно устраняют возможные пульсации давлений и работают на диаметрах водяной магистрали до 500 мм, а трансзвуковые устройства работают на диаметрах только до 100 мм.

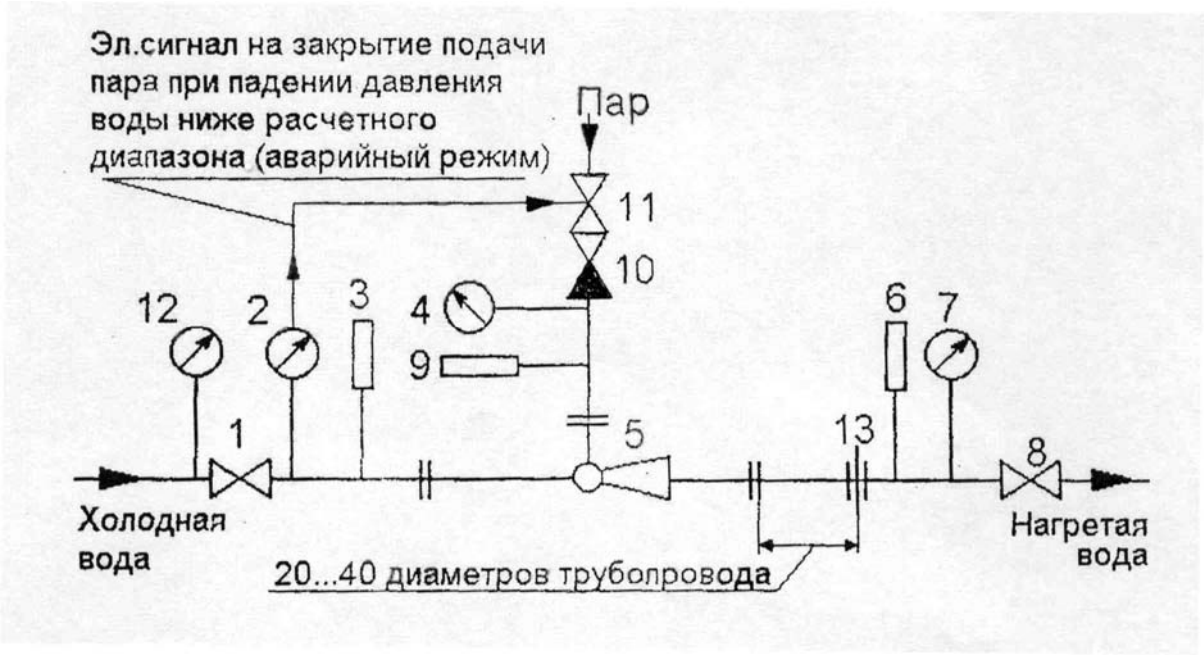


Рис. 13.16. Схема подключения МПЭ «ЭКОПАР»:

1, 8 – задвижки запорные; 4, 7, 12 – манометры показывающие; 2 – электроконтактный манометр; 3, 6, 9 – термометры; 5 – МПЭ «ЭКОПАР»; 10 – обратный клапан; 11 – задвижка с электроприводом; 13 – смесительные решетки

Проектирование и изготовление осуществляется под конкретного заказчика по следующим диапазонам параметров:

- условный диаметр водяной магистрали 40...500 мм;
- тепловая мощность 0,2...75 Гкал/ч;
- перепад между давлениями пара и воды – 2,5...+12 ати;
- давление пара 0,15...13 ати;
- расход пара 0,3...123 т/ч;
- расход воды 7,3...2500 т/ч.

Для предварительного определения экономического эффекта от внедрения МПЭ «ЭКОПАР» необходимо на графике (рис. 13.17, 13.18) определить величину экономии по расходу воды и КПД бойлера, подлежащего замене, затем пересчитать экономию прямо пропорционально требуемой величине нагрева воды, стоимости 1 гигакалории на предприятии и продолжительности работы.

Приведем *пример расчета* экономии при установке МПЭ «ЭКОПАР». *Дано:*

- расход воды для нагрева – 125 т/ч;
- КПД существующего бойлера – 0,5;
- продолжительность работы установки – 5000 ч;
- нагрев воды на 30 °С;
- себестоимость 1 Гкал – 250 руб.

Расчет:

1. По рис. 13.17 (пунктирная линия) определяем экономию при расчетных параметрах графика. Она равна 3,5 млн. руб./год.
2. Произведем перерасчет экономии с учетом фактических условий:

$3\,500\,000 \cdot (5000 : 5232) \cdot (200 : 300) = 2\,229\,867$ руб./год.

Преимущества от использования элеватора «ЭКОПАР»:

- максимальный коэффициент теплопередачи и КПД 99 %;
- высокая надежность из-за отсутствия движущихся деталей;
- работа на неочищенной воде и при значительных изменениях давлений и расходов воды и пара;
- отсутствие пульсаций давления после МПЭ;
- уменьшение потерь тепла через корпус и экономия производственных площадей вследствие малых габаритов и возможности установки изделия вне помещения;
- простота эксплуатации, отсутствие необходимости ремонтов;
- решение экологических проблем путем утилизации выбросов, отработанного пара.

Графики зависимости прямого экономического эффекта от расхода воды и КПД заменяемого бойлера при нагреве воды на 30 ºС, стоимости 1 Гкал 300 руб., периоде работы в отопительном сезоне 5232 ч (218 дней)

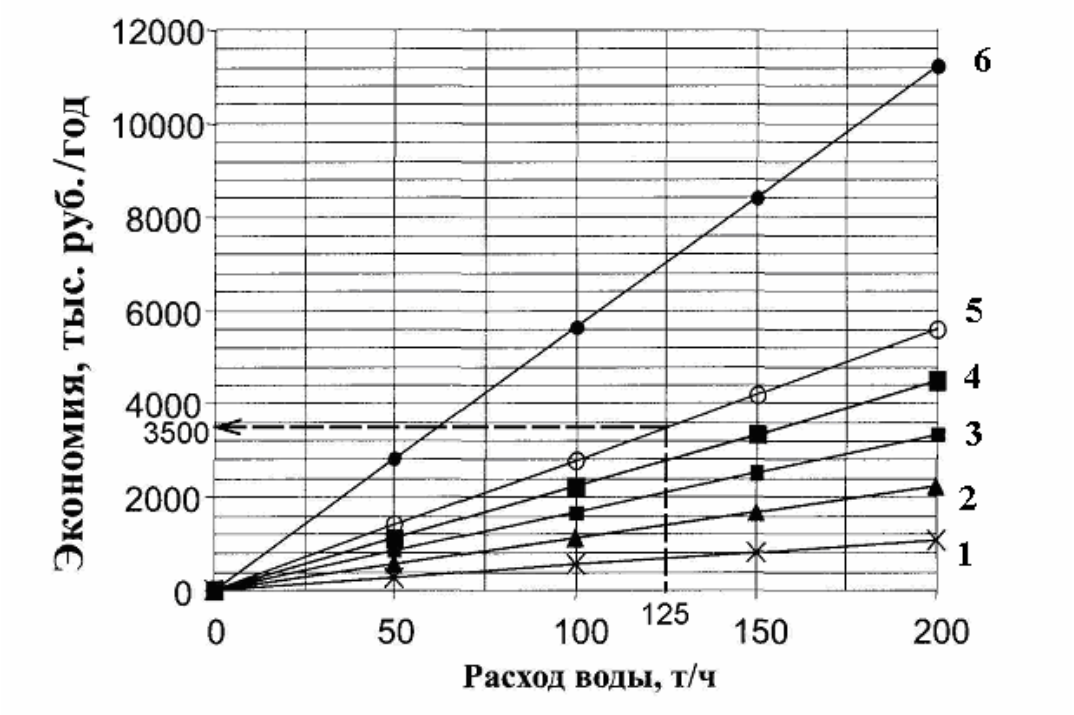


Рис. 13.17. Расход воды до 200 т/ч: 1 – КПД 0,9; 2 – КПД 0,8; 3 – КПД 0,7; 4 – КПД 0,6; 5 – КПД 0,5; 6 – утилизация пара

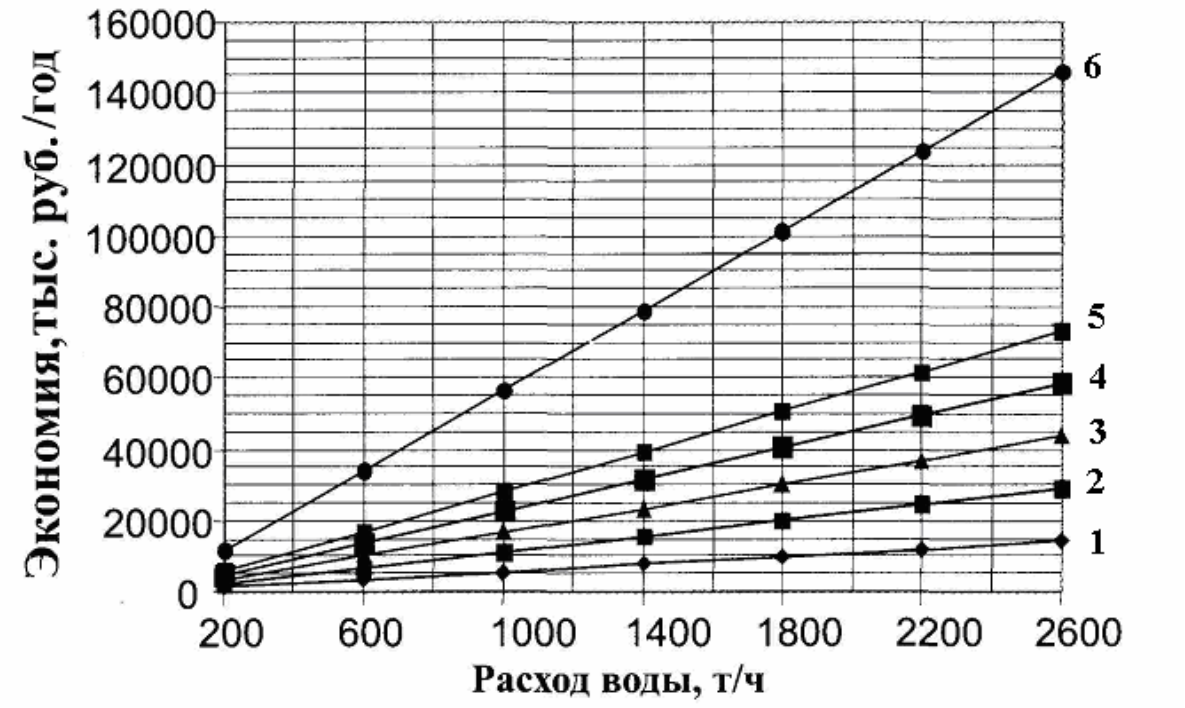


Рис. 13.18. Расход воды от 200 до 2600 т/ч: 1 – КПД 0,9; 2 – КПД 0,8; 3 – КПД 0,7; 4 – КПД 0,6; 5 – КПД 0,5; 6 – утилизация пара

Экономический эффект достигается:

- за счет рационального использования пара, уменьшения потерь тепла и экономии топлива, снижения стоимости гигакалории,
- исключения затрат на текущие и плановые ремонты, на подготовку к зиме,
- значительного сокращения затрат в случае замены отслужившего срок изделия,
- вывода из эксплуатации насоса,
- получения дополнительной прибыли при использовании отработанного пара.

«ЭКОПАР» эксплуатируется на предприятиях: комбинат «Магнезит», г. Сатка; НТМК, г. Нижний Тагил; ОАО «Уралоргсинтез», г. Чайковский; «Миасский инструментальный завод», г. Миасс; ООО «Ставролен», г. Буденновск и многих других.

Газотурбинная расширительная электрическая станция (ГТРЭС)

Еще один вид вторичных энергоресурсов – это механическая энергия (давление) природного газа, которая бесполезно срабатывается на различных магистральных газораспределительных станциях (ГРС) и газорегуляторных пунктах (ГРП) промышленных предприятий. При этом перепад давления здесь может составлять 5 – 6 МПа (50 – 60 ата).

В настоящее время в России в промышленной эксплуатации находятся две газотурбинные расширительные электрические станции (ГТРЭС), вырабатывающие электрическую энергию, – в Свердловэнерго и Мосэнерго. Обе они предназначены для выработки электрической энергии.

Для обеспечения высокой надежности газоснабжения ГТРЭС предусмотрена работа турбины параллельно ГРП. Полный расход газа на турбину составляет 210 тыс. $м^3$/ч. Остальной поток подается к потребителям через ГРП, встроенный в здание ГТРЭС. В схеме ГРП предусмотрены четыре нитки газопроводов, из них одна – растопочная, а каждая из трех остав-

шихся (основных) обеспечивает пропуск газа, эквивалентный расходу газа через турбину. Одна из основных ниток (заранее выбранная) работает в «безрасходном» «следящем» режиме, при этом положение регулирующих органов «следящей» нитки автоматически поддерживается в положении, строго соответствующем расходу газа на турбину. В случае внезапного останова газовой турбины поток газа переключается полностью на «следящую» нитку ГРП, который с этого момента обеспечивает редуцирование всего расхода газа, поступающего к потребителям.

При параллельной работе турбины и ГРП в случае увеличения расхода газа больше пропускной способности турбины автоматически загружается работающая нитка ГРП, а после ее полной загрузки включается в работу и следующая. Такая схема обеспечивает автоматическую максимальную загрузку турбины для всех режимов и использования газа основными потребителями.

Управление работой ГТРЭС максимально автоматизировано с использованием современной микропроцессорной техники и выполняется с удаленного щита управления энергоблоков.

С целью улучшения условий эксплуатации, повышения мощности и экономичности ГТРЭС природный газ перед турбиной подогревается в газовом теплообменнике. Теплообменник включен в замкнутый греющий контур экономайзера низкого давления, который установлен в специально смонтированном байпасе газохода котла энергоблока. При этом для подогрева природного газа используется тепло уходящих газов котлоагрегатов, что обеспечивает расход условного топлива на производство электроэнергии не более 0,05 кг у.т./(кВт·ч).

Схема аналогичной ГТРЭС Мосэнерго отличается тем, что подогрев газа осуществляется за счет использования питательной воды котлов. В этом случае удельный расход топлива достигает 0,12 кг у.т./(кВт·ч).

В условиях Свердловэнерго средняя производительность ГТРЭС составляет около 6 МВт·ч при расходе природного газа 200 тыс. $м^3$/ч. В тече-

ние года производство дополнительной электроэнергии составляет на данной ГТРЭС около 10 млн. кВт·ч.

Практика освоения подобных газотурбинных расширительных электростанций показывает целесообразность их самого широкого тиражирования как на ТЭС, так и на промышленных предприятиях, подключенных непосредственно к магистральным сетям природного газа.

13.8. Теплоиспользующие аппараты на тепловых трубах

Принцип действия, назначение и типы тепловых труб

Тепловые трубы имели предшественника – так называемые трубы Перкинса.

Трубы Перкинса – это бесфитильные тепловоды, в которых перенос тепла осуществляется также за счет скрытой теплоты парообразования, а циркуляция теплоносителя – за счет сил гравитации. Эти устройства были изобретены Перкинсом в 1897 г. и успешно использовались сначала в хлебопекарном деле, а затем нашли и другие многочисленные области применения [55].

Термин «тепловая труба» впервые был использован в патенте Гровера, представленном от имени Комиссии по атомной энергии США в 1963 г. Патент Гровера включал описание устройства и результаты экспериментов, проведенных с трубами из нержавеющей стали, в которых фитили были выполнены из проволочной сетки, а в качестве рабочей жидкости использовался натрий. Тепловая труба (ТТ) представляет собой устройство, обладающее высокой эффективностью передачи теплоты (рис. 13.19). На внутренней стенке ее укреплен фитиль, сделанный, например, из нескольких слоев тонкой сетки. Труба заполняется небольшим количеством теплоносителя (рабочей жидкости), после чего из нее откачивается воздух и она плотно закрывается. Один конец трубы нагревается, что вызывает ис-

парение жидкости и движение пара к холодному концу трубы. Здесь в результате охлаждения пар конденсируется и под воздействием капиллярных сил возвращается к горячему концу трубы. Поскольку теплота парообразования теплоносителя велика, то ТТ и при малой разности температур на концах может передавать большой тепловой поток.

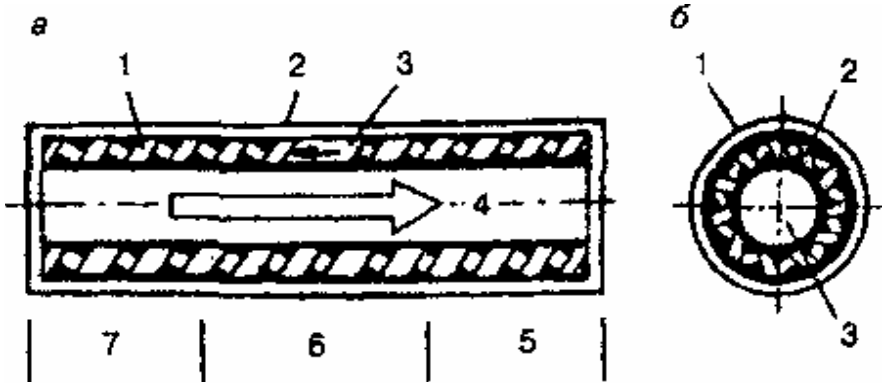


Рис. 13.19. Основные элементы тепловой трубы:
а – продольное сечение (1 – фитиль; 2 – стенка трубы; 3 – возврат жидкости по фитилю; 4 – пар; 5 – участок конденсации; 6 – адиабатный участок; 7 – участок испарения);
б – поперечное сечение (1 – стенка; 2 – фитиль; 3 – паровое пространство)

В ТТ различают три участка: зону подвода теплоты, или участок испарения 7, зону переноса теплоты, или адиабатный участок 6; зону отвода теплоты, или участок конденсации 5. Испаритель в рассматриваемой трубе может располагаться по-разному, и потому она будет работать в любом положении. ТТ позволяет транспортировать теплоту в различных направлениях, по любым прямолинейным и криволинейным каналам, поскольку фитиль, который смачивается в зоне конденсации, будет всегда подавать теплоноситель в зону испарения. Круговорот теплоносителя в ТТ совершается независимо от наличия сил тяжести. Благодаря этому ТТ является универсальным теплопроводом, подобно электрическому проводу, который предназначен для передачи электроэнергии, или световоду, который осуществляет передачу света.

Эффективность работы ТТ часто определяется с помощью показателя «эквивалентная теплопроводность». Например, цилиндрическая ТТ, где в качестве рабочей жидкости используется вода при температуре 150 ºС, будет иметь теплопроводность в сотни раз большую, чем медь. Теплопередающая способность ТТ может быть очень большой. Так, в ТТ, где в качестве рабочего тела используется литий, при температуре 1500 ºС в осевом направлении можно передать тепловой поток 10 – 20 кВт/см^2.

Не менее разнообразны и теплоносители – ацетон, аммиак, фреоны, дифенильные смеси, вода, ртуть, индий, цезий, калий, натрий, литий, свинец, серебро, висмут и неорганические соли.

При выборе материалов и теплоносителей для ТТ необходимо учитывать их совместимость. В противном случае вследствие химического взаимодействия теплоносителя с материалом стенки корпуса образуются продукты реакции в виде неконденсирующегося газа и твердого осадка (табл. 13.8 [42]).

В настоящее время известны десятки разновидностей конструкций ТТ. Наряду с гладкостенными, фитильными, центробежными (вращающимися) существуют электрогидродинамические трубы, трубы с эффектом магнитного поля, осмотические ТТ и др.

Наиболее характерными областями применения ТТ являются энергетика, машиностроение, электроника, химическая промышленность, сельское хозяйство. В каждой из этих отраслей они могут использоваться для утилизации низкопотенциальных вторичных энергоресурсов. Наибольшее применение ТТ находят при температуре ВЭР от 50 до 250 °С, поскольку в данном температурном диапазоне нет необходимости использовать дорогостоящие материалы и теплоносители.

Для передачи теплоты по криволинейным каналам могут быть использованы гибкие тепловые элементы. Гибкость достигается установкой в корпус трубки (между испарителем и конденсатором) гибкого элемента типа сильфона или изготовлением трубки из какого-либо пластического

материала с использованием обычных металлических секций для подвода или отвода теплоты.

Таблица 13.8

Совместимость материалов ТТ и используемого теплоносителя

Материал	Теплоноситель						
	фреон-11	вода	ацетон	аммиак	метиловый спирт	калий	натрий
Медь	Да	Да	Да	Нет	Да	–	–
Алюминий	То же	Нет	То же	То же	Нет	–	–
Нержавеющая сталь	То же	То же	То же	То же	Да	Да	Да
Углеродистая сталь	То же	То же	То же	То же	Нет	–	–
Никель	То же	Да	То же	То же	Да	–	–

Основы теории тепловых труб можно рассматривать на примере фитильных ТТ. Для обеспечения их работы необходимо соблюдать следующее соотношение:

$$p_{к\,max} > \Delta p_х + \Delta p_п + \Delta p_д,$$

где $p_{к\,max}$ – максимальный капиллярный напор; $\Delta p_х$ – перепад давления, необходимый для возврата жидкости из зоны конденсации в испарительную зону; $\Delta p_п$ – перепад давления, который необходим для перехода пара из испарительной зоны в конденсационную; $\Delta p_д$ – гравитационный перепад давления.

Следует заметить, что при несоблюдении этого соотношения фитиль в зоне испарения высохнет и работать не будет.

Конструкции теплоиспользующих аппаратов с тепловыми трубами

Теплообменники на тепловых трубах (ТТТ) – разновидность рекуперативных теплообменников с промежуточным теплоносителем. Появились они в начале 70-х гг. XX в., когда была доказана принципиальная возможность применения тепловых труб в качестве эффективных теплопередающих устройств.

Для теплообменников целесообразны сравнительно дешевые конструкции ТТ, имеющие малые габариты и хорошие теплотехнические характеристики. К таким ТТ можно отнести гладкостенные (термосифоны), фитильные и центробежные. В качестве элементов ТТТ могут успешно применяться и электрогидродинамические, электроосмотические, магнитогидродинамические, осмотические и другие виды тепловых труб.

Эффективность теплообменника с тепловыми трубами обычно оценивается коэффициентом

$$\varepsilon_т = (T_{г1} - T_{г2}) / (T_{г1} - T_{х2}).$$

Здесь $T_{г1}$ и $T_{г2}$ – температуры горячего теплоносителя на входе в теплообменник и выходе из него; $T_{х2}$ – температура холодного теплоносителя на входе.

Конструктивно ТТТ выполняются из набора ТТ (рис. 13.20, 13.21). В ТТТ имеются зоны испарения и конденсации, в некоторых аппаратах – еще и транспортная (адиабатная) зона, не участвующая в процессе теплообмена. Эти зоны могут иметь различные геометрические размеры, которые лимитируются возможностями тепловых труб по транспорту теплоносителя. Испарительная зона теплообменника находится в потоке теплоотдающей среды, а конденсация – в потоке тепловоспринимающей среды.

В зависимости от агрегатного состояния теплоносителей, омывающих испарительную и конденсационную зоны ТТТ, они разделяются на три типа: 1) газ–газ (воздух–воздух); 2) газ–жидкость; 3) жидкость–жидкость.

Теплоиспользующие аппараты первого типа применяются в качестве воздухоподогревателей для промышленных процессов, в системах отопления и вентиляции помещения, для кондиционирования воздуха, в агрегатах-утилизаторах животноводческих ферм и т.д. В свою очередь, каждый из типов ТТТ в зависимости с назначения делится на три вида:

1) процесс – процесс: для промышленных процессов (подогрев воз-

духа для котлоагрегатов, металлургических печей, сушильных камер, печей обжига кирпича, цемента и т. п.);

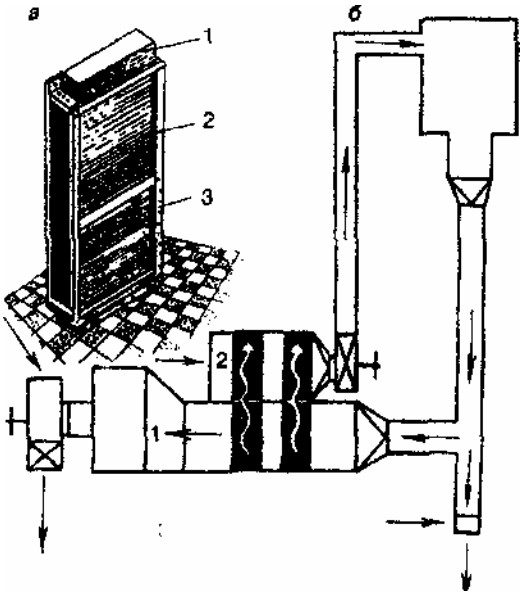


Рис. 13.20. Рекуперативный теплообменник на тепловых трубах:
а – общий вид (1 – рама с тепловыми трубами; 2 – воздуховод; 3 – газоход);
б – направление потоков (1 – горячий газ; 2 – холодный воздух)

2) процесс – комфорт: для использования энергии нагретого отработанного воздуха при обогреве помещений, что позволяет отказаться от индивидуальных котельных;

3) комфорт – комфорт: для использования отработанного воздуха в целях подогрева зимой поступающего в помещение холодного воздуха и охлаждения летом поступающего в помещение теплого воздуха.

На рис. 13.20 приведен теплообменник на тепловых трубах типа газ–газ для утилизации теплоты отходящих газов. Испарительные зоны тепловых труб в нем находятся в потоке горячего газа 1, а конденсационные зоны омываются холодным воздухом 2, который необходимо нагреть. Теплообмен внутри такого теплообменника зависит от положения тепловых труб в поле тяжести. Эта зависимость оказывается особенно сильной при использовании термосифонных тепловых труб.

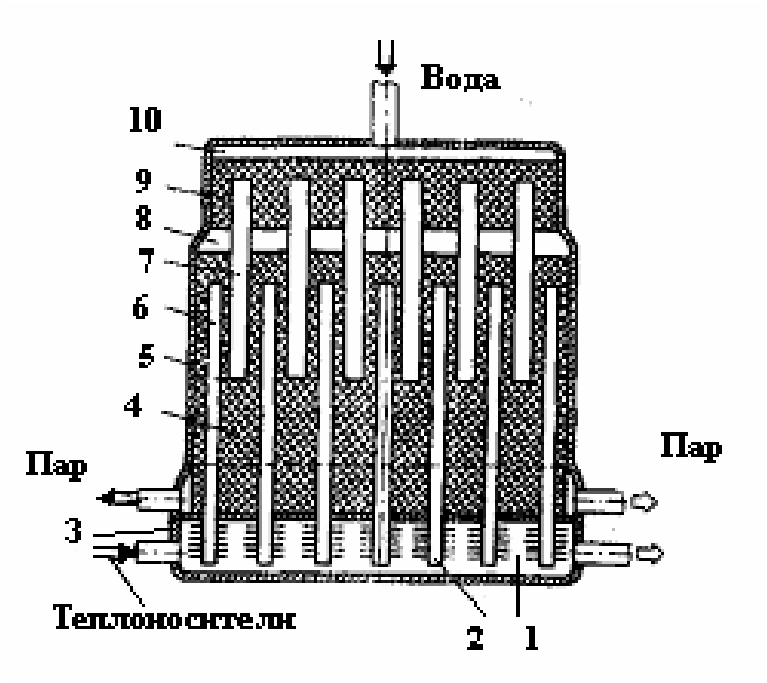


Рис. 13.21. Теплообменник на тепловых тубах (парогенератор)

Теплообменники второго типа (газ–жидкость) используются в условиях, исключающих взаимодействие газа и жидкости в широком интервале давлений и температур. Эти ТТТ могут быть применены как конденсаторы, нагреватели и охладители жидкостей, парогенераторы и т.д. Примером такого аппарата является парогенератор (рис. 13.21), который включает в себя корпус 5, разделенный перегородкой 3 на камеры нагрева 1 и охлаждения 10. В камере охлаждения расположены слои 9 и 4 из дисперсного материала в виде свободной насыпки или спеченной металлической пористой массы, которые отделяются один от другого зазорами 8. В слой 4 пористой металлокерамики введены с противоположных сторон чередующиеся и взаимоперекрывающиеся холодные концы высокотемпературных тепловых труб 6 и горячие концы низкотемпературных 7.

В пористый слой 9 введены холодные концы низкотемпературных ТТ 7. Горячие концы высокотемпературных ТТ 2 введены в камеру нагрева 1. Высокотемпературные ТТ служат для передачи теплоты из камеры 1 в пористый слой 4, где часть теплоты воспринимается горячими концами

низкотемпературных ТТ 7, а остальная расходуется на перегрев пара. Для осуществления кипения (испарения) жидкости, которая поступает из коллектора 10 в пористый слой 9, используется теплота, передаваемая ТТ 7. Вследствие высокоинтенсивного внутрипарового теплообмена температура жидкости при ее движении повышается, давление падает и происходит процесс фазового перехода. В зазор попадает насыщенный пар с каплями жидкости. Входящая в слой 4 парожидкостная смесь перегревается за счет подвода теплоты от ТТ 6 и превращается в перегретый пар. Применение пористой насадки в камерах позволяет обеспечить высокую эффективность и компактность теплообменного аппарата.

Следует отметить, что в ТТТ типа газ–жидкость теплоносители можно располагать на относительно большом расстоянии друг от друга, а наличие двойной стенки в теплообменнике и промежуточного теплоносителя обеспечивает надежность и безопасность их эксплуатации.

В теплоиспользующих аппаратах типа жидкость–жидкость теплоотдающая и тепловоспринимающая среды являются жидкостями. Принцип работы этих аппаратов такой же, что и в рассмотренных выше. Применяются они в основном в химической промышленности и в атомной энергетике в условиях, когда исключается возможность взаимодействия теплоотдающей и тепловоспринимающей жидкостей в широком диапазоне давления и температуры.

Использование тепловых труб для утилизации

Тепловые трубы в настоящее время находят широкое применение. При использовании ТТ для утилизации ВЭР представляется возможным не только повысить тепловую эффективность работы энергетических установок, но во многих случаях уменьшить загрязнение окружающей среды. Примером может служить применение ТТ в двигателях Стирлинга или в карбюраторных двигателях в качестве испарителя топлива.

Рассмотрим схему установки ТТ в газоходах двигателя. Испаритель-

ная зона ТТ размещается в выпускном патрубке, а конденсационная – во впускном (после карбюратора). В результате теплота отработанных газов передается посредством ТТ топливно-воздушной смеси, обеспечивая полное испарение топлива и увеличение конденсации его паров в смеси с воздухом. Было установлено, что в этих условиях даже бедная смесь с соотношением воздух – топливо 22 : 1 воспламеняется без затруднений. В результате содержание $N0_x$ и CO в отработанных газах (ОГ) двигателя снижается до минимума.

Теплота ОГ двигателей внутреннего сгорания (ДВС) может быть использована для отопления транспортных средств. Эта задача эффективно решается с помощью ТТТ. В [48] предложены отопительные кабины автомобиля. Отопитель состоит из патрубков для ОГ и воздуха, разделенных перегородкой, через которую проходят ТТ. В теплообменнике применены ТТ, снабженные пористой кольцевой пластиной, которая разделяет соединенные клапаном зоны испарения и конденсации. Особенность конструкции отопителя состоит в том, что начиная с определенного уровня ΔT между воздухом и ОГ повышение температуры последнего не приводит к увеличению теплового потока, рабочей температуры и давления в тепловой трубе. На основании проведенных расчетов и экспериментов установлено, что использование ТТТ для отопления кабин транспортных средств с помощью ОГ ДВС позволило бы сэкономить в зимнее время до 30 % топлива двигателей воздушного охлаждения. В то же время установка их на двигателях жидкостного охлаждения позволит предотвратить чрезмерное понижение температуры охлаждающей жидкости в зимнее время.

Для утилизации вторичных энергоресурсов газовых турбин и других энергетических установок разработан специальный ТТТ. Основным узлом этого теплоиспользующего аппарата является дисковая центробежная ТТ.

13.9. Основные итоги

1. Тепловые потери с так называемым отходящим теплом огромны и достигают во многих технологических процессах 50 – 70 % от общего количества расходуемой энергии.
2. К настоящему времени накоплен большой практический опыт по использованию энергетического потенциала вторичных энергоресурсов (ВЭР) энергетических отходов: дымовых газов различных энергетических и огнетехнологических агрегатов, охлаждающей воды, побочных продуктов технологических процессов – доменного газа и др.
3. Один из итогов накопленного опыта по утилизации ВЭР – эффективность использования топлива повышается, если в энерготехнологических установках, в результате работы которых образуются ВЭР, топливо максимально используется непосредственно для реализации технологического процесса по выпуску конечной продукции.
4. С целью повышения эффективности использования топлива непосредственно в технологическом процессе целесообразно сокращать выход ВЭР за счет регенерации, рекуперации, рециркуляции отходящей теплоты в самом технологическом процессе (нагрев воздуха, подаваемого на горение, подогрев сырья и др.).
5. В связи с особенностями процессов генерации электрической и тепловой энергии в энергетике целесообразно максимально использовать различные технологии когенерации, т.е. обеспечить комбинированное производство электрической (или механической) и тепловой энергии из одного и того же первичного источника энергии.
6. В мировой практике накоплен богатый опыт по использованию низкопотенциального тепла с применением трансформаторов теплоты, тепловых насосов, тепловых труб.

7. Массовое освоение данных устройств в отечественной практике позволит осуществить прорыв в сложившихся традиционных схемах использования первичного топлива в энергетике и промышленности.

Контрольные вопросы

1. Что такое вторичные ресурсы?
2. Какую часть «отходящей теплоты» относят к ВЭР – вторичным энергетическим ресурсам?
3. Какие виды вторичных энергетических ресурсов вы знаете?
4. Какие вам известны способы и устройства для утилизации ВЭР?
5. Изложите схему расчета экономии топлива за счет использования ВЭР.
6. Дайте характеристику устройств, используемых для переноса тепловой энергии от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой, так называемых трансформаторов теплоты.
7. Что такое тепловая труба?
8. Приведите примеры конструкций теплоизолирующих аппаратов с тепловыми трубами.

Рекомендуемые темы для рефератов

1. Вторичные энергетические ресурсы и их использование.
2. Когенерация: основы и преимущества, техническая реализация.
3. Технологические особенности использования низкопотенциальной теплоты.
4. Тепловые трубы.

Обозначения и сокращения

АЭС – атомная электрическая станция

ВЭР – вторичный энергетический ресурс

ГТРЭС – газотурбинная расширительная электрическая станция

ГТУ – газотурбинная установка

ГУБТ – газовая утилизационная бескомпрессорная турбина

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

ЕС – Европейский союз государств

КПД – коэффициент полезного действия

КПИ – коэффициент полезного использования

КУ – котел-утилизатор

МПЦ – многократная принудительная циркуляция воды

МПЭ – магистральный паровой элеватор

НТМК – Нижнетагильский металлургический комбинат

ОГ – отработанные газы после двигателя

СИО (УИО) – система (установка) испарительного охлаждения элементов технологических агрегатов

СНГ – Союз независимых государств

США – Соединенные Штаты Америки

ТТ – тепловая труба

ТНУ – теплонасосная установка

ТТТ – теплообменник на тепловых трубах

ТЭН – теплоэлектронагреватель

ТЭС – тепловая электрическая станция

УСТК – установка сухого тушения кокса

14. Отраслевое энергосбережение

14.1. Общие данные

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 изменятся.

Приведем основные рекомендации по отраслевому энергосбережению.

Характеристики основных конструкционных материалов

Один из основных видов производственной деятельности в России – производство конструкционных материалов. В подавляющем большинстве случаев здесь определяется величина энергетической составляющей в себестоимости производства продукции. В табл. 14.1 представлены сравнительные данные по мировым объемам производства основных конструкционных материалов, удельной прочности этих материалов, затратам энергии на производство материалов с учетом их удельной прочности, стоимости единицы удельной прочности материалов.

Анализ представленных данных показывает, что основные конструкционные материалы в настоящее время – это сталь (черные металлы), железобетон, пиломатериалы. Полимеры могут составить им конкуренцию, если будут найдены пути снижения затрат энергии на их производство. Относительно низкие объемы производства полимеров объясняются еще и тем, что 1 т этого материала при определенных условиях заменяет не менее 3 т рядового металла. Производство цветных металлов из первичного

сырья по энергоемкости в большинстве своем выше стали в 4 – 6 раз. Затраты энергии значительно ниже в случае использования для производства металлов вторичного сырья. Стоимость единицы удельной прочности материалов практически пропорциональна затратам энергии на их производство.

Таблица 14.1

Показатели производства основных конструкционных материалов *

Материал	Приведенные объемы мирового производства, млн т/год**	Условная прочность материалов	Затраты энергии на производство материалов	Стоимость единицы удельной прочности материалов
Стальной прокат	100	1,0 (1,0)***	1,0 (0,3)	1,0 (1,0)
Железобетон	90	0,1	1,15	0,2 – 0,3
Пиломатериалы	50	0,05	0,12	0,1
Полимеры	5,5	0,13 – 0,21	4 – 7	~ 5,5
Алюминиевый прокат	2,5	0,8 (0,52)	5 (0,3)	~ 4
Медный прокат	1,0	0,8 (0,6)	4,5 (0,6)	~ 6

* Все показатели приведены относительно стали (данные для стали приняты за единицу).

** Превышение расходов ТЭР на единицу продукции в России по сравнению со среднемировыми показателями: стальной прокат – 1,5…2 раза; полимеры – 1,5…3 раза; алюминиевый прокат – 1,3 раза; медный прокат – до 2 раз; огнеупоры – 2 раза.

*** В скобках указаны данные для металлов, полученных из вторичного сырья (лома)

Превышение энергоемкости отечественной продукции над среднемировыми показателями в 1,5 – 3 раза напрямую определяет существенный рост стоимости изделий российской промышленности по сравнению мировыми ценами. Это положение определяет тот факт, что на производство и обработку металлов в нашей промышленности приходится более половины энергозатрат из общего их промышленного потребления. Соот-

ветственно доля продукции общего машиностроения и металлообработки в валовом внутреннем продукте (ВВП) страны является наиболее весомой, а потому влияние ее энергоемкости на ВВП является определяющим. Вызвано это во многом тем, что энергоемкость изделий машиностроения не менее чем на 70 % определяется энергозатратами на предыдущих этапах производства.

Несмотря на все усилия в области энергосбережения, ситуацию в России изменить коренным образом не удается. Так, за 1998 – 2000 гг. в стране произошел фактический рост энергоемкости ВВП на 3,7 % вместо планируемого снижения на 5,3 %.

В этой ситуации возможности продукции машиностроения во многом определяются энергетическими проблемами металлургической и химической промышленности, которые, на наш взгляд, следует решать за счет реализации следующих задач:

- дальнейшее развитие производства марочной и качественной продукции с пониженными удельными энергозатратами на их производство;
- снижение объемов и затрат на производство рядового металла за счет энергосбережения и повышения доли вторичного сырья при его изготовлении;
- поиск путей снижения затрат энергии на производство полимеров.

Следовательно, от решений, которые будут приниматься и реализовываться руководством соответствующих холдингов и предприятий, производящих исходные материалы, во многом будет зависеть динамика технического и экономического уровня развития машиностроительного комплекса и промышленного производства в целом.

Такое состояние с энергоемкостью металлургической продукции диктует необходимость целенаправленной энергосберегающей политики.

Некоторые общемировые тенденции по экономии энергии в металлургии

Одна из особенностей настоящего времени 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, ее 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 можно выделить следующие методы обогащения:

- катионная (ионная) флотация кремнезема из руды;
- флокуляция (агломерация) железа перед флотацией (выводом твердых частиц на поверхность воды);
- 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 или азотной кислотами, хлорирование, использование электротермических процессов и т.д. Для металлургической промышленности индустриально развитых

стран характерно неуклонное снижение удельных расходов энергии на 1 т произведенной продукции, примерно по 1 – 1,5 % в год.

К настоящему времени полная энергоемкость металлургической промышленности в среднемировом измерении примерно составляет, кг у.т./т продукции:

- медь – 5000;
- сталь – 750…850;
- алюминий – 7000;
- огнеупоры – 220.

Другая очень характерная особенность в развитии металлургической промышленности западных стран – 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;
- газовые бескомпрессорные турбины – ГУБТ, использующие избыточное давление доменного газа для производства электроэнергии. В настоящее время данные установки в России практически отсутствуют.

Направления энергосбережения в отечественной металлургии

Технологические процессы в большинстве своем отличаются повышенным удельным расходом энергии, поэтому на пути энергосбережения можно выделить тактические и стратегические шаги.

Стратегические подходы связаны, как правило, с реконструкцией производства, внедрением новых энергосберегающих технологических процессов. В этом плане в нашем регионе следует отметить ряд положительных результатов. Введен современный цех катанки на «Уралэлектромеди». Реализуются целевые комплексные программы энергосбережения, проводится стимулирование экономии электроэнергии (Каменск-Уральский металлургический завод (КУМЗ), завод «Уралэлектромедь» и др.). Большое внимание уделяется на всех заводах черной металлургии повышению качества металла за счет установки вакууматоров, использования четвертого передела. Реализуется целевая образовательная программа по энергосбережению, которая корректируется с учетом особенностей конкретного предприятия.

К тактическим шагам можно отнести организацию учета расходования энергоресурсов на разных уровнях, в том числе и на отраслевом. Сейчас такой учет на отраслевом уровне не ведется, несмотря на требование последних ГОСТов по энергосбережению и введение нового интегрального показателя – «полная энергоемкость производства продукции». К другим шагам данного уровня следует отнести организационные и режимные мероприятия.

Основные резервы экономии энергоресурсов в металлургии заключены в реализации или дальнейшем развитии следующих направлений:

- комплексное использование сырья, что особенно актуально для Урала. 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*;
- дальнейшее увеличение производства проката с улучшенными прочностными и защитными свойствами и расширение его ассортимента;

- 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.

Современное состояние металлургии в мире характеризуется острой конкурентной борьбой за рынки сбыта, за выгодные тарифы на услуги и продукцию естественных монополистов. Большое влияние на развитие металлургии оказывает динамика цен на первичное топливо, энергетическое и технологическое (коксующийся уголь, природный газ). Поэтому можно прогнозировать, что в обозримом будущем российская металлургия будет решать две задачи:

- производство марочной и качественной продукции;
- снижение затрат на производство продукции, и в первую очередь за счет освоения энергосберегающих технологий.

От того, как будут решаться эти взаимосвязанные задачи, будет зависеть будущее российской металлургии.

Энергоемкость металлургической продукции

Практически на каждый вид сырьевого ресурса, полуфабриката, конечной продукции разработаны нормы расхода топлива, тепловой и электрической энергии. Особенность всех этих видов норм в том, что они определяют уровень удельного показателя расхода энергии на данном конкретном переделе, в конкретном технологическом процессе, которых в металлургии десятки и даже сотни. Разработка этих многочисленных норм производственной энергоемкости осуществляется одним из трех методов: опытным (определение удельных затрат энергии по данным испытаний),

расчетно-аналитическим (определение норм расчетным путем по статьям расхода с учетом лучших показателей использования этих ресурсов в производстве) и расчетно-статистическим (выявление норм расхода на основе анализа статистических данных).

Последний метод разработки норм расхода энергии получил на практике самое широкое распространение. В результате длительное время в большинстве отраслей нашей промышленности сохраняется схема, при которой устанавливаются, корректируются нормы расхода энергоресурсов без анализа всех возможностей по снижению удельных расходов энергии.

Другой недостаток системы контроля за уровнем удельных расходов по переделам – невозможность системного подхода при оценке сквозного расхода энергии на тот или иной технологический процесс по всем звеньям технологической цепи данного производства и во взаимосвязанных производствах.

Действительно, общий расход энергии на производство металлургической продукции зависит от многих факторов. Так, повышение единичной мощности и экономичности работы энерготехнологических агрегатов, внедрение ряда новых технологических схем, интенсификация металлургических процессов приводят к уменьшению затрат энергии, а постоянный рост валового производства, структурные изменения на предприятии и недостатки в использовании топлива обычно вызывают увеличение этих затрат.

Суммарные энергетические затраты на производство одной тонны металлургической продукции снижаются, например, при увеличении полезного объема доменных печей, выплавке стали в дуговых электропечах, при непрерывной разливке стали, более широком использовании кислорода. И наоборот, эти затраты растут при однобоком развитии конвертерного производства, увеличении числа переделов, усложнении и улучшении качества проката.

Как показывают расчеты, суммарные энергетические затраты суще-

ственно повышаются при увеличении доли жидкого чугуна и снижении доли лома в сталеплавильном переделе. Наименьшие суммарные энергетические затраты на выплавку стали – в дуговых электропечах, далее в порядке возрастания этих затрат следуют: доменная печь – мартеновская печь (скрап-процесс); доменная печь – кислородный конвертер.

Таким образом, вопросы улучшения энергоиспользования и снижения удельных расходов энергии на единицу готовой продукции представляют собой комплексную проблему, для решения которой, как уже отмечалось, требуется системный подход, а также анализ влияния разнообразных определяющих факторов.

В основу одного из вариантов такого подхода положен метод энергетического анализа, который предусматривает сквозной расчет затрат энергии по всей технологической цепи, вплоть до реализации готовой продукции. Сквозной расчет затрат энергии дает возможность выявления значений отраслевых суммарных затрат топлива и других видов энергии во всех предшествующих переделах внутри данной отрасли. Эти суммарные затраты энергии и будут составлять энергоемкость конкретного готового конечного или одного из промежуточных видов продукции [5, 48].

Под полной энергоемкостью изготовления продукции понимаются затраты топлива и других видов энергии (пересчитанных на топливо, необходимое для их получения) в данном и во всех предшествующих переделах технологического процесса (с соответствующими расходными коэффициентами) в килограммах условного топлива на единицу продукции за вычетом тепловых, топливных, материальных и других вторичных ресурсов. Энергия вторичных ресурсов рассчитывается по количеству первичной энергии, которая фактически экономится при их использовании, на единицу произведенной продукции.

Для сравнения в табл. 14.2 приведены данные по энергоемкости и по усредненным удельным расходам энергии (топлива, электроэнергии) на отдельные виды продукции в черной металлургии. Из таблицы видно, что

чем больше переделов (ступеней производства) предшествовало получению готового проката, тем больше разница между энергоемкостью (ТТЧ) и удельным расходом энергии на производство этого продукта на заключительной (или основной) стадии.

Таблица 14.2

Сравнение полной энергоемкости (ТТЧ) и удельного расхода топлива на отдельные виды продукции

Вид продукции	Полная энергоемкость (ТТЧ), кг у.т. на единицу продукции	Удельный расход топлива, кг у.т. на единицу продукции
Теплоэнергия, Гкал	188	177
Электроэнергия, кВт·ч	0,42	0,35
Сжатый воздух, 1000 м^3	45	–
Кислород, 1000 м^3	278	–
Вода, 1000 м^3	105 – 263	–
Доменное дутье, 1000 м^3	91,5	56,3
Железная руда, т	0,4 – 9,6	–
Концентрат железной руды, т	1,0 – 65,9	–
Агломерат, т	143,0 – 175,5	89,2 – 110,3
Окатыши, т	171	92,3 (69,3 кВт·ч)
Кокс, т	1303,3	1185,4
Чугун, т	1062,8	652,3
Электросталь, т	509	–
Мартеновский скрап-процесс, т	762	222,3
Мартеновский скрап-рудный процесс, т	880	106,9
Кислородно-конвертерный процесс, т	1198	20
Прокат, т	1300 – 2000	100 – 350
Изделия машиностроения (детали из черных металлов)	2500 – 3500	–

14.2. Потенциальные возможности отраслевого энергосбережения

Потенциальные возможности энергосбережения при соответствующей организации технологических процессов показаны ниже на примере черной металлургии (табл. 14.3).

Таблица 14.3

Потенциальные возможности энергосбережения в черной металлургии

Основные энергосберегающие технологические процессы, оборудование и мероприятия	Потенциальная экономия топлива
Обогащение руды	
Повышение содержания железа в железорудной части шихты на 1 %	1,5 % кокса на 1 т чугуна; рост производительности на 2,2 %
Агломерационное производство	
Снижение содержания мелких фракций в агломерате на 1 %	1 % кокса на 1 т чугуна
Снижение колебаний содержания железа в агломерате (с ±1,5 до ± 0,3 %)	4 – 5 % кокса на 1 т чугуна
Снижение колебаний основности (с ±0,1 до ± 0,075)	0,8 % кокса на 1 т чугуна
Ввод извести в шихту взамен известняка (на 10 кг известняка)	1 кг у.т./т агломерата (твердого топлива)
Увеличение высоты спекаемого слоя на каждые 10 мм (в диапазоне от 240 до 450 мм)	0,6 – 2 % уд. расхода твердого топлива
Применение технологии накатывания тонкоизмельченного твердого топлива (до 0,5 мм) на гранулы окомкования шихты	5 – 7 % топлива
Дросселирование вакуум-камер под зажигательными устройствами	До 10 % топлива
Использование тепла агломерата (для нагрева воздуха на горение или прямое использование горячего воздуха, отходящего от агломерата в горн)	До 30 % газообразного и 10 % твердого топлива
Основные энергосберегающие технологические процессы, оборудование и мероприятия	Потенциальная экономия топлива
Внедрение систем автоматического регулирования процессом агломерации	5 – 10 % (от потребления в процессе)
Производство окатышей	
Ввод в действие машин с площадью спекания 520 м^2 (вместо 108 и 306 м^2)	8 – 10 % (топлива) 7 – 10 % (электроэнергии)
Увеличение высоты спекаемого слоя (на каждые 100 мм увеличения слоя)	4 – 5 % удельного расхода топлива
Идентификация процессов сушки и обжига, в том числе за счет использования комбинированного способа обжига окатышей со сжиганием газа над слоем и в слое окатышей; применения эффективных горелочных устройств и высокотемпературного подогрева воздуха	10 – 15 % (от потребления в процессе)
Рециркуляция газов зоны охлаждения для целей сушки	15 – 20 % (от потребления в процессе)
Доменное производство (экономия кокса на 1 т чугуна)	
Увеличение содержания железа в шихте (на 1 %)	1,5 %
Снижение доли мелочи – 5 мм в агломерационной шихте (на 1 %)	0,5 %
Увеличение доли окускованных материалов в железорудной части шихты (на 1 %)	0,25 %
Повышение температуры дутья (на 10 ^{o}C)	0,2 %

Окончание табл. 14.3

Снижение влажности дутья (на 10 г/м^3)	2 %
Вывод сырых флюсов (на 10 кг извести)	0,5 %
Повышение давления газа на колошнике (на 0,01 МПа)	0,3 %
Частичная замена кокса другими энергоносителями: природный газ (на 10 м^3/т) мазут (на 10 кг/т) угольная пыль (на 10 кг/т)	 1,8 % 10 кг 6 кг
Автоматизация процесса плавки, автоматическое регулирование загрузки шихты	2 – 5 %
Сталеплавильное производство	
Интенсификация технологии стали за счет применения кислорода, современных средств управления плавкой и других мероприятий	10 – 12 кг у.т. на 1 т чугуна
Повышение доли лома в шихте, увеличение его средней плотности	Затраты на 1 т лома в 8 раз ниже, чем на 1 т чугуна
Обработка стали в вакууме	Себестоимость стали снижается от 3 дол. США/т и выше
Использование природного газа в электропечах с удельным расходом 10 – 13 м^3/т	4 – 10 % (расход условного топлива на 1 т стали)
Исключение случаев скачивания шлака из мартеновской печи при наличии бурого дыма в печи	1 % (рост газовой производительности печи)
Основные энергосберегающие технологические процессы, оборудование и мероприятия	Потенциальная экономия топлива
Прокатное производство (экономия в кг у.т. на 1 т проката)	
Внедрение непрерывной разливки стали	20 – 25
Высокотемпературный подогрев воздуха (на каждые 100 ^{o}C повышения температуры)	4 – 5
Применение высокоэффективной теплоизоляции (в том числе каолиновых изделий): стен и сводов нагревательных печей подовых труб	 2 – 4 9 – 14
Организация транзита и горячего всада непрерывнолитых слябов на станах, оборудованных МНЛЗ	До 40
Увеличение доли на 4 – 5 % и температуры горячего посада слитков в нагревательные колодцы на 30 – 40 %	7 – 8
Применение оптимальных режимов нагрева и термической обработки металла, автоматизация процессов с применением ЭВМ	10 – 12
Нагрев слитков в нагревательных колодцах с импульсной подачей газа и воздуха в период томления	1,5 – 2
Посад в нагревательные колодцы слитков с незатвердевшей сердцевиной в размере 10 % от объема	3,0
Горячий посад металла в нагревательные печи листовых станов от обжимного стана	10
Производство проката с гарантированной общей прочностью (на 1 т сэкономленного проката)	2000

Из среднезатратных мероприятий по ряду других производств черной металлургии приведем здесь следующие.

Коксохимическое производство. Термическая подготовка угольной шихты. Угольная шихта предварительно нагревается до 150 – 200 °С. Для нагрева следует шире использовать отходящие газы установок сухого тушения кокса или раскаленный кокс, выдаваемый из коксовых печей. Термоподготовка шихты позволяет увеличить производительность коксовых батарей и снизить расходы тепловой энергии. Автоматизация системы управления процессом горения топлива при отоплении коксовых печей дает экономию энергии 42 МДж теплоты на 1 т кокса. Более широкое применение установок сухого тушения кокса и получаемой при этом теплоты для производства пара энергетических параметров. Использование теплоты отходящих от батарей дымовых газов для нагрева воды, отопления и других коммунально-бытовых целей.

Прокатное и трубное производство. Повышение температуры слитков, подаваемых в нагревательные колодцы, до 800 – 830 °С и увеличение доли горячего посада до 90 – 98 % сокращает расход топлива на 4 – 5 кг на тонну проката. Подача горячего металла в методические печи транзитом от обжимных заготовочных станов уменьшает расход топлива на 15 – 60 % относительно расхода при холодном посаде. До 15 – 20 % теплоты, подаваемой в печь с топливом, отводится системой охлаждения конструктивных элементов печи. Около 90 % теплоты, воспринимаемой охлаждаемыми элементами печи, приходится на долю подовых труб (балок). Применение испарительного охлаждения позволяет практически полностью утилизировать эту теплоту. Количество теплоты, воспринимаемой подовыми трубами, может быть сокращено за счет их теплоизоляции и уменьшения площади обогреваемой поверхности. Достичь этого можно путем увеличения шага между трубами. При оптимальном уменьшении площади поверхности подовых труб снижение удельного расхода топлива на нагрев металла достигает 10 %. Термоизоляция подовых труб, выпол-

няемая из огнеупорных волокнистых материалов, позволяет сократить расход топлива на 18 – 25 % и повысить производительность печи на 15 %.

Температура отходящих газов нагревательных печей достигает 900-1000 °С, причем 40 – 60 % теплоты, выделяемой при сгорании топлива, отводится с продуктами сгорания. Для утилизации этой теплоты следует применять нагрев отводящими газами подводимого воздуха для сжигания топлива, нагрев газового топлива, предварительный нагрев металла, загружаемого в печь. При подогреве металла отходящими газами расход топлива может быть сокращен на 15 %. Нагрев воздуха, подаваемого в печь, отходящими газами на 100 °С дает экономию топлива 4 – 5 кг/т проката. Оптимизация работы печей с использованием автоматики позволяет снизить расход топлива на 15 – 20 кг/т. Внедрение технологии нагрева слитков в нагревательных колодцах слябингов с отоплением из центра пода с импульсной подачей топлива сокращает расход топлива на 13 – 16 %. Установка теплообменников для утилизации тепла на выходе из радиантных труб повышает степень использования топлива на 25 – 30 %. Применение рекуператоров для использования теплоты после колпаковых печей снижает расход топлива на 16 – 20 %. Физическая теплота отходящих газов нагревательных печей и колодцев должна использоваться для выработки пара в котлах-утилизаторах.

Огнеупорное производство. Замена печей устаревших конструкций (кольцевых, газокамерных, периодических) современными рекуперативно-обжиговыми агрегатами (туннельными, вращающимися, шахтными печами) позволяет сократить расход топлива с 370 до 240 кг/т. Совершенствование горелочных устройств печей уменьшает расход топлива на 5 – 10 %. Применение кислорода при сжигании топлива во вращающихся печах снижает расход топлива на 30 – 35 %. Использование отходящих газов для подогрева кусковых материалов дает снижение расхода топлива на 10 – 20 %. Утилизация теплоты в котлах-утилизаторах и водяных экономайзерах уменьшает расход топлива на 10 – 30 %.

Цветная металлургия. В свинцовом и медно-цинковом производстве применение кивцетной плавки приводит к снижению удельных расходов топлива на 20 – 50 %. При внедрении автогенной плавки медно-никелевого сырья в агрегате непрерывного действия удельный расход электроэнергии снижается более чем в 2 раза. Бездиафрагменные электролизеры уменьшают удельный расход электроэнергии при получении магния на 8 – 10 %, а закрытые руднотермические печи (с оптимизацией режимов плавки) – на 5 – 7 %. Для снижения расходов органического топлива целесообразно повысить долю плавки в электропечах взамен плавки в шахтных и отражательных печах, на которые в настоящее время приходится соответственно 15 – 25 и 40 – 50 % общего производства. В производстве алюминия переход на электролизеры с обожженными анодами обеспечивает снижение удельного расхода электроэнергии на 5 – 7 %.

Один из крупных потребителей тепловой энергии в цветной металлургии – производство глинозема. Для снижения расхода энергоресурсов в этом производстве рекомендуются следующие мероприятия: перевод печей спекания и кальцинирования на сжигание природного газа, внедрение рекуперативных холодильников (циклонного или «кипящего» слоя), повышение степени регенерации тепловой энергии в автоплавильных установках выщелачивания и обескремнивания, увеличение кратности использования пара в выпарных батареях, внедрение водоподогревателей контактного типа. Выполнение этих мероприятий позволит снизить удельные расходы топлива на 20 – 25 % и тепловой энергии в 1,5 – 2 раза.

До 10 % расходов энергоресурсов можно снизить за счет автоматизации технологических процессов с помощью ЭВМ.

Ниже приведены средние удельные расходы электроэнергии в кВт · ч/т на некоторые виды продукции предприятий цветной металлургии:

Медь черновая……...	760
Медь рафинированная……..	415
Никель электролитный……	3500 – 6400

Никель огневой……. 17200
Цинк электролизный……. 3700 – 4300
Свинец…… 500
Глинозем……. 700
Алюминий-сырец…….. 17200
Алюминий высокой частоты…… 20000
Электролиз:
Магния…… 17000
Меди…… 3000
Марганца…… 8000
Натрия……. 15000
Лития…….. 66000
Кальция……... 5000
Рафинирование:
Свинца…… 150
Золота…….. 300
Серебра……... 500
Олова…….. 190

Энергосбережение в химической и нефтехимической промышленности

В табл. 14.4, 14.5 приведены данные по удельным расходам топлива и теплоэнергии, а также электроэнергии на некоторые виды химической и нефтехимической продукции.

Таблица 14.4

Удельные расходы топлива и теплоэнергии на некоторые виды химической и нефтехимической продукции

Вид продукции	Удельный расход топлива, кг у.т./т	Удельный расход теплоэнергии, МДж/т
Химические волокна и нити: вискозные искусственные лавсановые	 970,07 191,4	 63458 31134
Полиэтилен ВД	–	12213
Полиэтилен НД	–	9496
Полипропилен	–	25758
Диметилтерадтолат	215,5	15270
Стеклопластики	–	14315
Стеклошарики	1024	–
Фосфатные удобрения	297,2	–

Окончание табл. 14.4

Сода кальцинированная	129,7	–
Калийные удобрения	28,4	–
Синтетические смолы и пластмассы	–	21237
Аммиаксинтетический этилен	–	4154
Этилен	1000	24000 – 420000
Окись этилена	50 – 75	8000 – 10000
Кислород газообразный	–	200 МДж/ 1000 м^3
Каучук синтетический и латексы	1319	118712

Таблица 14.5

Удельные расходы электроэнергии на некоторые виды химической и нефтехимической продукции

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т		
	По различным источникам		
Сода каустическая	2800 – 4000	–	2300 – 2700
В том числе:			
ртутным методом	4000	–	–
диафрагменным методом	3020	–	–
Сода кальцинированная	153	–	75 – 90
Спирт бутиловый и этиловый	1350	1000 – 1450	–
Серная кислота	106 –134	–	60 – 100
Аммиак конверсионный	1700 – 2000	–	750 – 2000
Аммиак электролитический	13600	–	12000 – 14000
Метанол	1430	–	–
Полихлорвиниловая смола	654	–	–
Пластмассовые изделия	2823	–	2800
Стекловолокно	5837	5800	–
Целлофан	2940	2240 – 2900	2500
Сероуглерод	399 – 537	–	–
Химические волокна	4953	4900 – 5200	–
Синтетические волокна, в том числе:			
шелк вискозный	5800 – 8900	–	6000 – 11000
шелк капроновый	9700 – 12400	–	12500 – 14300
шелк ацетатный	6819	–	5900 – 6800
шелк триацетатный	7490	–	–
шелк хлориновый	2430	–	–
шелк анид для корда и технических изделий	4965	–	–
шелк капроновый для корда и технических изделий	5660 – 8820	–	–
шелк лавсан для корда и технических изделий	9930	–	–
штапель вискозный	2400 – 3740	–	2000 – 3800
штапель капроновый	2650 – 3300	–	–
штапель лавсан	3600	–	–
прочие виды химических волокон	4900	–	–

Продолжение табл. 14.5

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т		
	По различным источникам		
Азот	218	350	–
Азотная кислота	120 – 330	-	130 – 150
Карборунд	10000 – 12000	-	–
Каучук синтетический	1000 – 2643	–	–
В том числе:			
СКСМ	2200 – 2650	–	–
СКД	2055	–	–
СКН	1691	–	–
БК	21419	–	–
СКИ	3615	–	–
Соляная кислота	10 – 40	–	–
Уксусная кислота	233 – 264	–	1400
Фосфорная кислота	192 – 247	–	–
Хлор	3000 – 4000	–	1900 – 2000
Фосфор электровозгонный	15980	–	5000 – 6000
Этилен	1460	–	–
Водород	6780	–	–
Сера	141 – 185	–	–
Карболит	207 – 340	–	–
Аммиачная селитра	25 – 49	–	–
Калийные удобрения	200	–	–
Синтетические смолы и пластмассы	1283	–	–
В том числе:			
карбамидные смолы	84	–	–
демитилфталат	1592	–	–
полиэтилен высокого давления	1680 – 2340	–	–
ацетат целлюлозы	1475	–	–
ионно-обменные смолы	2300	–	–
поливинилацетатная эмульсия	139	–	–
Ацетилен	4040	–	–
Латексы	2660	–	–
Дивинил товарный	3160	–	–
Фосфор желтый	15570 – 16000	–	–
Моющие средства	334	–	–
Сухие моющие средства	209	–	–
Жидкие моющие средства	220	–	–
Метилстирол	1140	–	–
Стирол	136	–	–
Окись этилена	–	400 – 500	–
Полистирол	2610	–	–
Щетина капроновая	3910	–	–
Фосфорная мука	22-50	–	–
Резина товарная	470	–	–
Ковры автомобильные	350	–	–
Клей резиновый	450	–	–

Окончание табл. 14.5

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т		
	По различным источникам		
Капролактам	3160 – 5230	–	1350
Губка вискозная	60	–	–
Жидкое стекло	70	–	–
Сухой лед	940	–	–
	Удельный расход, кВт · ч/1000 м^2		
Ткань кордная вискоза	1050	–	–
Ткань анидная кордная	120	–	–
Ткань корундная	357 – 546	–	–
Ткань прорезиненная	55	–	–
Линолеум	1400	–	–
Производство кислорода (кВт · ч/1000 м^3)	880 – 1300	–	–
Автопокрышки (кВт · ч/1000 шт.)	37000	37000 – 39000	37000
Резино-технические изделия (кВт · ч/усл. ед.)	332	210 – 330	220 – 300
Обувь резиновая (кВт · ч/1000 пар)	1030	–	–

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 энергосбережения надо в первую очередь уделять внимание этим производствам. Основными проблемами энергосбережения на предприятиях химической промышленности являются: совершенствование существующих технологических процессов и оборудования в производствах кальцинированной и каустической соды; внедрение крупных агрегатов по производству метанола; использование газофазного метода полимеризации этилена в производстве полиэтилена; совершенствование и укрупнение единичной мощности агрегатов в производстве химического волокна; развитие мембранной технологии разделения жидких и газообразных сред; разработка и внедрение производства хлора и каустической соды в мембранных электролизерах; увеличение доли диафрагменного метода в производстве каустической соды: применение высокоактивных катализаторов; производство ацетальдегида прямым окислением этилена кислородом; широкое внедрение автоматизации технологических процессов.

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 теплотехнологических 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 доохлаждение 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 теплотехнологий.

В системах отопления, вентиляции, горячего водоснабжения непосредственное использование низкопотенциальной теплоты и теплонасосных установок является обоснованным, так как энергетическая эффективность таких систем в ряде случаев достаточно высока, особенно при наличии дешевых источников для привода компрессоров. Перспективно использование низкопотенциальной теплоты в системах термического обессоливания воды, получения искусственного холода.

Энергосбережение в нефтеперерабатывающей промышленности

В табл. 14.6, 14.7 приведены удельные расходы топлива, тепловой энергии и электрической энергии по некоторым установкам и выпускаемой продукции предприятий нефтепереработки.

Основными способами снижения расходов энергоресурсов в нефтепереработке являются:

- применение ЭВМ для управления технологическими процессами;
- повышение эффективности утилизации сбросной теплоты;
- увеличение КПД печей;
- увеличение КПД дистилляционной установки путем использования дополнительных стадий;
- усовершенствование тепловых насосов;
- использование низкопотенциальной сбросной теплоты для теплоснабжения (дает экономию топлива до 20 %).

Таблица 14.6

Удельные расходы топлива и теплоэнергии по некоторым установкам предприятий нефтепереработки

Установка	Удельный расход топлива, кг у.т./т	Удельный расход теплоэнергии, МДж/т
Первичная переработка	30,3	82,8
Гидрокрекинг	173,2	81,3
Термический крекинг	48,4	96,4
Каталитический крекинг	54,6	207,0
Каталитический крекинг на облагораживание	94,7	136,0
Производство масел	212,0	2763,0
Коксование	75,6	222,0
Гидроочистка топлива	25,0	17,5

Таблица 14.7

Удельные расходы электроэнергии по некоторым установкам предприятий нефтепереработки (в среднем по отрасли)

Процесс	Удельный расход, кВт · ч/т		
	По различным источникам информации		
Переработка нефти	31,3	29,5	–
Первичная переработка нефти	14,5	13,8	–
Термический крекинг нефти	14,8	13,9	11 – 15
Каталитический крекинг нефти	59,6	60,0	60,0
Каталитический риформинг	83,4	80,0	–
Производство катализатора	2368,0	2100,0	–
Пиролиз нефти	20,5	19,0	–
Коксование	30,4	27,0	30 – 40
Производство масел	284,0	295,0	–

Энергосбережение в машиностроении

Из всех потребляемых энергоресурсов на машиностроительных предприятиях около 30 % расходуется на чисто технологические процессы и около 70 % – на ТЭЦ, котельные, вентиляцию, освещение, выработку сжатого воздуха, внутризаводской транспорт и прочие вспомогательные нужды. Энергоемкими производствами в машиностроении являются: кузнечное, литейное, термическое и гальванопокрытий. Сложность энергосбережения на машиностроительных предприятиях заключается в большой номенклатуре выпускаемой продукции и отсутствии удельных норм расхода энергоресурсов на выпуск продукции. Поэтому показателями эффективности использования энергоресурсов для предприятий машиностроительного комплекса могут стать следующие:

1) энергоемкость продукции $\beta_{эн.п}$, кг у.т./руб.;

2) электроемкость продукции $\beta_{эл.п}$, кВт ·ч/руб.;

3) теплоемкость продукции $\beta_{т.п}$, ГДж/руб. или Гкал/руб.;

4) топливоемкость продукции $\beta_{топ.п}$, кг у.т./руб.

Эти показатели определяются по выражениям:

$$\beta_{\text{эн.п}} = \sum B_{\text{г}} / \text{Ц}_{\text{г.п}};$$

$$\beta_{\text{эл.п}} = W_{\text{эл.г}} / \text{Ц}_{\text{г.п}};$$

$$\beta_{\text{т.п}} = Q_{\text{г}} / \text{Ц}_{\text{г.п}};$$

$$\beta_{\text{топ.п}} = \sum B_{\text{т.г}} / \text{Ц}_{\text{г.п}},$$

где $\Sigma B_{\text{г}}$ – полное годовое потребление топлива и всех видов энергии в пересчете на условное топливо, кг у.т./год; $W_{\text{эл.г}}$ – годовое потребление активной мощности, кВт · ч/год; $Q_{\text{г}}$ – годовое потребление тепловой энергии, ГДж/год или Гкал/год; $\Sigma B_{\text{т.г}}$ – полное годовое потребление всех видов топлива, кг у.т./год; $\text{Ц}_{\text{г.п}}$ – стоимость годового выпуска продукции, руб./год.

Аналогичные показатели применяются и в зарубежной практике.

В табл. 14.8 приведены значения $\beta_{\text{эн.п}}$, $\beta_{\text{эл.п}}$, $\beta_{\text{т.п}}$, $\beta_{\text{топ.п}}$ для ряда обследованных машиностроительных предприятий. Как видно из этой таблицы, наиболее энергоемкими являются предприятия, связанные с оборонными заказами.

Таблица 14.8

Показатели работы ряда машиностроительных предприятий в 1991 г.

Завод	Потребление ТЭР				$\beta_{\text{эн.п}}$, кг у.т./ руб.	$\beta_{\text{эл.п}}$, кВт·ч/ руб.	$\beta_{\text{т.п}}$, Гкал/ руб.	$\beta_{\text{топ.п}}$ кг у.т. /руб.
	Всего, тыс. т у.т.	Топливо, %	Электроэнергия, %	Тепловая энергия, %				
По производству метизов	201,081	37,60	31,14	31,26	0,860	0,841	1,570	0,034
Автобусный	95,694	44,24	21,21	35,55	0,249	0,225	0,072	0,146
По производству мостов автомобилей	67,896	6,50	47,40	46,10	0,106	0,159	0,050	0,007
Механический	87,299	40,51	25,43	34,06	0,656	0,524	0,167	0,266
Инструментальный	56,341	40,18	33,33	26,49	0,517	0,541	0,172	0,207
Дорожных машин	100,068	46,28	26,08	27,64	0,678	0,556	0,177	0,314

Окончание табл. 14.8

Завод	Потребление ТЭР				$\beta_{эн.п}$, кг у.т./ руб.	$\beta_{эл.п}$, кВт·ч/ руб.	$\beta_{т.п}$, Гкал/ руб.	$\beta_{топ.п}$ кг у.т. /руб.
	Всего, тыс. т у.т.	Топливо, %	Электроэнергия, %	Тепловая энергия, %				
Судостроительный	176,330	53,40	33,60	13,00	0,281	0,297	0,094	0,150
По производству судовых изделий	115,453	46,56	17,74	36,70	0,887	0,466	0,148	0,413
По производству автомобильных двигателей	318,396	43,92	37,72	18,36	0,505	0,598	0,542	0,222
Химического машиностроения	53,070	23,63	21,70	54,67	0,318	0,217	0,070	0,075
Станкостроительный	81,121	48,27	20,19	31,54	0,405	0,257	0,080	0,195
Авиационный	228,126	46,13	18,42	35,55	2,406	1,393	0,443	1,110

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.

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) изменением способов обработки изделий, например, заменой то-

карной обработки высадкой, переводом обработки изделий со строгания на скоростное фрезерование и т. д.;

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.

Удельный расход электроэнергии $W_{уд}$ на одну операцию можно выразить следующей формулой:

$$W_{уд} = P_{х.х} (T_м + T_{всп}) + P_{пол} T_м,$$

где $P_{х.х}$ – мощность холостого хода, кВт; $T_м$ – машинное время, с; $T_{всп}$ – вспомогательное время, с; $P_{пол}$ – полезная мощность, расходуемая на покрытие нагрузочных потерь и обработку металла за период $T_м$:

$$P_{пол} = k \frac{c S^x \delta^y V}{60 \cdot 75 \cdot 1{,}36},$$

где k – коэффициент, учитывающий нагрузочные потери; c – коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал; S – скорость подачи; σ – глубина резания; V – скорость резания; x и y – постоянные коэффициенты для данного материала (для большинства сортов сталей $x = 0{,}175$, $y = 1$; для чугуна $x = 0{,}75$, $y = 0{,}93$).

Из выражений видно, что снизить $W_{уд}$ можно за счет уменьшения $T_м$ и $T_{всп}$, а также за счет увеличения скорости подачи S. Поскольку технологические процессы в литейных, термических и кузнечных цехах могут осуществляться с различными энергоносителями, то правильный выбор энергоносителя имеет важное значение для их экономии. В табл. 14.9 приведены показатели возможной экономии топлива в литейных, кузнечных и термических цехах при внедрении энергосберегающих мероприятий.

Таблица 14.9

Показатели экономии энергии в машиностроении

Энергосберегающее мероприятие	Возможная экономия топлива
Литейное производство	
Обогащение дутья кислородом при плавке чугуна в вагранках	кокс – 4…5 %
Применение рекуперативных радиационных теплообменников для нагрева дутья до 500…550 °С	кокс – 8…10 %
Дожигание отходящих газов в вагранках с двухрядным расположением фурм	кокс – до 30 %
Предварительный подогрев шихты в загрузочных бадьях за счет теплоты отходящих газов	кокс – 10…15 %
Замена существующих вагранок индукционными печами для плавки чугуна	кокс – 0,1…12 тыс. т у.т./год на одну печь
Перевод отливок с литья в землю на литье в кокиль	0,25 т у.т./год на одну линию
Внедрение вибраторов для снятия напряжений в отливках	730 т у.т./год на одну установку
Организация участков брикетирования стружки	860 т у.т./год на один участок
Внедрение комплексов вагранок с механизацией набора, взвешивания и загрузки шихты	2,5 тыс. т у.т./год на один комплекс
Изготовление отливок из высокопрочного чугуна модифицированием в форме	240 кг у.т./т отливок
Изготовление крупногабаритных стержней (массой до 120 кг) в нагреваемой оснастке	4 кг у.т./т отливок
Внедрение оборудования для изготовления горючих брикетов из отходов линейного кокса	кокс - 12…15 %
Кузнечное производство	
Изготовление поковок на ковочном комплексе 2500	0,6 тыс. т у.т./год на один комплекс
Изготовление поковок на автоматизированных ковочных комплексах	170 т у.т./год на один комплекс
Термическое производство	
Применение систем автоматического регулирования нагрева металла	топливо – 15…25 %
Применение новых тепловых схем отопления (с рециркуляцией продуктов сгорания; импульсной системой отопления; с внешней рециркуляцией; со сводовым отоплением плоскопламенными горелками)	топливо – 20…30 %
Внедрение схем ступенчатого (комплексного) использования теплоты отходящих газов нагревательных и термических печей для низкотемпературной термообработки, сушки или нагрева воды	1 – 2 тыс. т у.т./год

Окончание табл. 14.9

Энергосберегающее мероприятие	Возможная экономия топлива
Внедрение сушильных установок с термокаталитической очисткой отбросных газов и дожиганием отработанного растворителя	топливо – до 20 %
Применение волокнистых огнеупорных футеровок в нагревательных и термических печах	10 – 15 тут/год на 1 $м^3$ футеровки
Подогрев воздуха до 250…300 °С в рекуператорах термических печей	топливо – до 12…15 %
Подогрев воздуха до 400…650 °С в рекуператорах нагревательных печей	топливо – до 35 %
Подогрев воздуха до 600…800 °С в рекуперативных горелках	топливо – до 20…30 %
Использование печей аэродинамического подогрева (ПАП) для термообработки цветных металлов и сушки изделий	топливо – до 30 %

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.

Энергосбережение в целлюлозно-бумажной промышленности

В табл. 14.10 приведены данные об удельных расходах электрической энергии на некоторые виды продукции предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП).

В целом по 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.

На ЦБП потребность в технологической теплоте в два раза и более превышает потребность в электроэнергии. Особенно большие расходы теплоты происходят в процессе сушки бумаги.

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:

1. В области экономии электроэнергии:

• увеличение начального давления пара перед турбинами заводских ТЭЦ;

• максимальное использование энергии в непиковые периоды графика;

• установка компенсирующих устройств для снижения потерь электроэнергии;

• увеличение коэффициента загрузки электродвигателей;

• применение более производительного оборудования для варки;

• замена древесного волокна бумажными отходами.

2. 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;

Таблица 14.10

Удельные расходы электроэнергии на выпуск продукции ЦБП

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т		
	По различным источникам информации		
Бумага:			
газетная	375	510	375
типографская	480 – 600	–	480 – 600
литографская	650	–	650
офсетная	405 – 540	–	400 – 540
писчая	500 – 675	–	500 – 685
оберточная	700	–	600 – 700
упаковочная	300	–	300
мешочная	600	664	600
электроизоляционная:			
4 мкн	40000	–	40000
8 мкн	10000	–	10000
10 мкн	8500	–	8500
кабельная	750 – 880	–	700 – 880
Картон:			
высокого качества	465	500	475
односторонней гладкости	335	318	325 – 360
переплетный	325	–	–
тарный	360	–	–
Древесная масса	1140	1145	1200 – 1280
Целлюлоза:			
сульфатная	371	–	370 – 380
сульфитная:			
мягкая	374	–	385
средняя	343	–	345
жесткая	286	–	285
облагороженная	628	–	630
беленая	656	–	535
полуцеллюлоза	346	–	345
Древесно-стружечные плиты	780 кВт·ч/м^2	–	150 кВт·ч/м^2
Лесозаготовка	–	–	3 – 5 кВт·ч/м^3
Лесопильное заводы	–	–	15 – 20 кВт·ч/м^3
Сушка пиломатериалов	–	–	10 кВт·ч/м^3
Распиловка	–	–	4 кВт·ч/м^3

• ограничение потребления пара до установленного максимума;

• снижение давления пара в котлах.

3. 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.

Энергосбережение в промышленности стройматериалов

В табл. 14.11 – 14.13 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. 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.

Таблица 14.11

Удельный расход топлива и теплоэнергии на выпуск продукции предприятий стройматериалов

Вид продукции	Удельный расход топлива, кг у.т./ед. пр.	Удельный расход теплоэнергии, МДж/ед. пр.
Кирпич керамический, 1000 шт.	248,9	–
Железобетонные конструкции и детали, $м^3$	–	1930
Известь строительная, т	191,9	–
Трубы керамические дренажные, км	541,1	–
Стекло листовое, т	499,9	–
Стеклоизделия, т	746,6	–
Вата минеральная, $м^3$	34,9	426
Материалы мягкие кровельные, тыс. $м^3$	71	2878
Плитка керамическая, $м^2$		
облицовочная	7,9	–
фасадная	10,6	–
для полов	8,3	–
Кирпич силикатный, тыс. шт.	–	1764
Трубы керамические канализационные, т	275,3	–
Керамзит, $м^3$	85,3	160
Перлит, $м^3$	182	1470
Пиломатериалы, $м^3$	–	2119
Линолеум, тыс. $м^2$	–	31820
Мягкая кровля, $м^2$	–	3027
Шифер, 1000 усл. плиток	–	1118

Таблица 14.12

Удельный расход электроэнергии на производство продукции предприятий стройматериалов

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/ед. прод.		
	По различным источникам информации		
Цемент, т:			
Портландцемент			
мокрый способ	130	902 – 130	105 – 110 135
сухой способ	35 – 85	–	
Шлакопортландцемент	75 – 95	–	75 – 95
Глиноземистый цемент	1500	–	–
Портландцемент белый	240 – 250	–	–
Стекло:			
листовое, т	97,6	70 – 100	55 – 80
полированное, $м^2$	25,4	–	–
прокатное, т	107 – 132	–	–
Триплекс, $м^2$	10	–	–
Сталинит плоский, $м^2$	14	–	–
Сталинит гнутый, $м^2$	48,5	–	–

Окончание табл. 14.12

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/ед. прод.		
	По различным источникам информации		
Стекло витринное полированное, $м^2$	6,7	–	–
Стекло закаленное, $м^2$	11,2	–	–
Стекло армированное, т	190	–	–
Стекло в блоках, т	360	–	–
Стекло швеллерного сечения, т	430	–	–
Облицовочная плитка, $м^2$	35,2	–	–
Зеркала, $м^2$	12	–	–
Кирпич: красный, 1000 шт. силикатный, 1000 шт.	 76,1 25 – 39	 70 – 80 30 – 60	 60 – 80 30
Шифер, 1000 усл. плиток	44 – 56	40 – 60	40 – 60
Лесопиломатериалы, $м^3$	10 – 24	20 – 25	15 – 20
Древесноволокнистые плиты, $м^3$	1 ,7 – 2,4	1.5 – 2,5	–
Древесностружечные плиты, $м^3$	51 – 180	60 – 120	–
Фанера клееная, $м^3$	66 – 102	–	–
Минеральная вата, $м^3$	63,9	–	65
Асбоцементные трубы, усл. км	1414 – 1680	1400 – 1700	–
Кирпич шлаковый, 1000 шт.	43,5	–	–
Кирпич диатомитовый, $м^3$	16 – 21	–	–
Кирпич трепельный, $м^3$	34 – 40	–	–
Мягкая кровля, $1000м^2$	194 – 210	–	–
Асбоцементные плиты, $м^3$	37 – 40	–	–
Строительный фаянс, т	316,2	–	–
Облицовочные плиты и блоки, $м^2$	19,9	–	–
Облицовочные и глазированные плитки, $м^2$	8,4	–	–
Метлахские плиты, $м^2$	2,3	–	–
Асбокартон, т	179	–	–
Известь гидратная, т	108	–	–
Бетон и раствор, $м^3$	4 – 5	–	–
Арматура, т	21 – 24	25 – 35	–
Армобетонные плиты с пропаркой, $м^3$	16 – 19	–	–
Пенобетон с пропаркой, $м^3$	14 – 16	–	–
Столярные изделия, $м^3$ Гипс, т Фарфор, 1 т усл. ед. Фаянс, 1 т усл. ед. Асбест, т	2,7 – 3,2 24 – 48 – – 439 – 613	– 20 – 70 – – –	– 18 – 32 250 – 600 300 – 900 350 – 400

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.

В табл. 14.13 приведены энергосберегающие мероприятия и возможная экономия энергоносителей при их внедрении на предприятиях по производству стройматериалов.

Таблица 14.13

Рекомендуемые энергосберегающие мероприятия для предприятий по производству стройматериалов

Энергосберегающее мероприятие	Возможная экономия энергоносителей
Производство оконного стекла и стеклоизделий	
Увеличение выпуска листового стекла методом термической полировки на расплаве металла	0,2 тыс. т у.т./1000шт
Доведение удельной поверхности регенераторов до 30 – 40 $м^2$ на 1 $м^2$ варочной части печи	топливо – 5…12 %
Использование эффективных насадочных материалов плавленолитных толщиной 40 мм вместо 65 мм в регенераторах	топливо – 5…10 %
Теплоизоляция легковесом или специальными изоляционными блоками наружной кладки варочной зоны печи, дна, свода	снижение удельного расхода энергии на 5…15 %
Полная изоляция огнеупорной кладки ванных печей	топливо – 20 %
Применение горелок с наклоном к стекломассе под углом 6 – 8° с увеличением коэффициента покрытия зеркала стекломассы	топливо – 8…10 %
Подогрев шихты до 400 °С за счет уходящих газов	интенсифицирование процесса стекловарения на 15…20 %, одновременное повышение КПД печи на 3…5 %
Производство стеновых материалов и керамических изделий	
Использование в качестве добавок в сырьевую смесь золошлаковых отходов, а также отходов угледобычи и углеобогащения: – добавка 500 кг золы электростанций на 1000 шт. кирпича – ввод в шихту 10 – 15 % шлама углеобогащения	 топливо – 30…35 кг у.т. на обжиг 1000 шт. кирпича; топливо – 25…30 %
Замена в кольцевых печах стационарных арочных сводов над камерами плоскими съемными сводами с использованием легких высокотемпературных материалов из керамических волокон	топливо – 30…40 % на обжиг
Увеличение толщины и отражательной способности внутренних слоев футеровки кольцевых печей	топливо – 3…5 %
Внедрение комплектных автоматизированных технологических линий по производству кирпича методом пластического формирования, мощностью 75 млн шт. усл. кирпича в год (расход условного топлива на 1000 шт. усл. кирпича – 175 кг)	0,73 тыс. т у.т. на 1 млн шт. усл. кирпича
Внедрение комплектных автоматизированных технологических линий по производству кирпича методом жесткого формирования с использованием отходов углеобогащения мощностью 30 млн шт. усл. кирпича в год (расход усл. топлива на 1000 шт. усл. кир. – 130 кг	1,2 тыс. т у.т. на 1 млн шт. усл. кирпича

Окончание табл. 14.13

Энергосберегающее мероприятие	Возможная экономия энергоносителей
Производство пористых заполнителей и теплоизоляционных материалов	
Внедрение технологии и оборудования по опудриванию гранул керамзита	0,14 т у.т./м^3
Применение технологии производства керамзитового гравия с использованием в качестве железосодержащего компонента сырьевой смеси алюможелезистого шлама	0,006 т у.т./м^3
Устройство порога из шамотного кирпича на расстоянии 9 м от горячего конца печи для локализации зоны вспучивания в однобарабанных печах длиной от 18 до 40 м	топливо – 7 – 12 %, увеличение производительности печи на 10 %
Использование тепла уходящих газов для подогрева дутьевого воздуха в печах керамзита	0,03 т у.т./м^3
Внедрение устройств по организованному вводу вторичного воздуха в зону обжига печи при производстве керамзита	0,015 т у.т./м^3
Внедрение технологии изготовления минераловатных изделий с гофрированной структурой	0,01 т у.т./м^3
Внедрение технологии и оборудования для получения особо легких минераловатных матов	0,024 т у.т./м^3
Увеличение выпуска пустотелого глиняного кирпича	0,05 т у.т./тыс. шт.
Подогрев воздушного дутья за счет использования тепла уходящих газов (500 – 600 °С) из вагранок	топливо (кокса) 20 – 30 % на плавку расплава; переход на большие диаметры вагранки – дополнительное снижение расхода на 15 – 20 %
Производство силикатного кирпича	
Увеличение выпуска пустотелого силикатного кирпича	65,0 Гкал/млн шт.
Проведение перепуска отработанного пара между автоклавами	250,0 Гкал/млн шт.
Использование автоклавного конденсата для увлажнения и повышения температуры силикатной смеси	125 Гкал/млн шт.
Производство сборного железобетона	
Применение суперпластификаторов (С – 3, 40 – СЗ; СМФ; СМС) при изготовлении железобетонных конструкций	169 Гкал/1000 м^3
Внедрение систем автоматического регулирования теплового режима пропарочных камер сборного железобетона	60 Гкал/1000 м^3
Внедрение прогрева железобетонных изделий в среде продуктов сгорания природного газа	140 – 160 Гкал/1000 м^3
Замена пара электроэнергией при тепловой обработке сборного железобетона	140 – 160 Гкал/1000 м^3

Энергосбережение в легкой промышленности

В табл. 14.14 приведен удельный расход электрической энергии на некоторые виды продукции текстильной и легкой промышленности, а в

табл. 14.15 – энергосберегающие мероприятия, способствующие экономии тепловой энергии.

Таблица 14.14

Удельный расход электроэнергии на производство некоторых видов продукции текстильной и легкой промышленности

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/ед. прод. По различным источникам информации		
Ткани, 1000 м^2:			
хлопчатобумажные	1018	600 – 1300	
льняные	1039	1200 – 1500	1200
шерстяные	2394	1500 – 2600	2400 – 3400
шелковые	1292	600 – 1400	2400 – 3400
Трикотажные изделия, 1000 шт	248 – 365	–	200
Льноволокно, т	453 – 550	450 – 550	–
Отделка окрашенных тканей, т	302	-	130 – 300
Пошив мешков, 1000 шт	52	–	–
Вата, т	157	–	250
Ватин, 1000 м^2	105	–	–
Тюфячная вата, т	192	–	–
Нитки, 1000 катушек	128	–	25
Хлопковолокно, т	368 – 380	–	–
Фарфоровые изделия, т	8900 – 9400	–	–
Обувь кожаная, 1000 пар	525 – 781	500 – 800	400 – 580
Резина подошвенная, т	334 – 359	–	–
Клеенки, 1000 м	340 – 350	–	–
Плащевые материалы, 1000 м	240 – 260	–	–
Кожа искусственная, 1000 м^2	440 – 480	450 470	–
Пленочные материалы, 1000 м^2	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 самокруточных 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 14.15

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 противоусадочной отделки одежных тканей	80 Гкал/млн м ткани
Внедрение автоматизированного регулирования относительной влажности агента сушки на машинах СКП-9-7ЛМ 1	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.

Энергосбережение в пищевой промышленности

В табл. 14.16 – 14.19 приведены нормы расхода электроэнергии в пищевой промышленности и основные направления снижения расхода энергоносителей на предприятиях пищевой промышленности.

Таблица 14.16

Удельный расход электроэнергии на производство в пищевой промышленности

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/ед. прод.		
	По различным источникам информации		
Мука, т	51 – 88	50 – 60	50 – 70
Крупа, т	30 – 32	30 – 40	25 – 30
Кормосмесь, т	13,1	–	–
Сушка зерна, т	10 – 13	–	–
Сахарный песок, 1 т переработанной свеклы	24 – 30	25 – 30	25 – 30
Сахар-рафинад, 1 т переработанной свеклы	60 – 80	60 – 80	35 – 70
Мясо и субпродукты, т	55 – 60	55 – 60	50
Колбасные изделия, т	74 – 90	75 – 90	65 – 80
Консервы мясные, 1000 усл. банок	20 – 25	23 – 26	50
Растительное масло, т	132 – 184	130 – 180	175
Мыло, т	–	–	8 – 10
Рыбные консервы, 1000 усл. банок	23 – 69	25 – 70	–
Консервы плодоовощные, 1000 усл. банок	–	23	–
Хлебобулочные изделия, т	–	–	20 – 40
Макароны, т	–	–	70 – 80
Пиво, тыс. дкл	–	540 – 800	–
Водка и водочные изделия, тыс. дкл	–	160 – 175	–
Спирт высокой очистки, дкл	–	3 – 4	–
Шампанское, тыс. дкл	–	80 – 200	–
Папиросы и сигареты, млн шт.	–	200 – 260	–

Таблица 14.17

Удельные нормы расхода холода, пара, воды и электроэнергии на выпуск молочной продукции

Вид продукции	Норма расхода (на 1 т готовой продукции)				
	холода, тыс. стандартных ккал	пара, т/ч		воды, $м^3$	электроэнергии, кВт·ч
		на технологические нужды	на вентиляцию		
1	2	3	4	5	6
Творог:					
полужирный (раздельный способ)	342	1,4	2,5	53	930
18 %-ной жирности (раздельный способ)	311	1,65	–	48	808
зерненный	311	1,9	2,0	62	907
Молоко:					
обезжиренное	22	0,1	0,1	4	84
пастеризованное:					
в бумажных пакетах	41	0,2	0,21	7	84
в стеклянных бутылках 0,5 л	44	0,2	0,14	10	87
во флягах	41	0,2	0,15	8	74
стерилизованное:					
в стеклянных бутылках	12	0,7	–	9	52
в бумажных пакетах	12	0,35	–	6	38
топленое:					
в стеклянных бутылках	70	0,6	0,5	10	131
Простокваша в стеклянных бутылках, л:					
0,2	107	0,4	0,35	15	226
0,5	107	0,4	0,35	12	186
Кефир:					
жирный:					
в стеклянных бутылках	69	0,3	0,35	11	125
в бумажных пакетах	87	0,2	0,25	9	119
обезжиренный:					
в стеклянных бутылках	–	0,45	–	11	167
в бумажных пакетах	–	–	–	–	160
Ряженка:					
в стеклянных бутылках 0,5 л	110	0,8	0,5	19	193
в банках по 0,2 л	110	0,8	–	22	211
Сливки 10-, 20- и 30 %-ные	76	0,5	0,5	29	142
Сметана: 30- и 36 %-ной жирности:					
в стеклянных бутылках	113	1,0	0,73	27	237
во флягах	13	0,9	0,5	23	184
Сырки:					
творожные	265	1,7	2,3	33	696
глазированные	255	2,4	–	48	616

Окончание табл. 14.17

1	2	3	4	5	6
Сыр:					
костромской или голландский	750	2,5	3,3	79	1488
российский	590	2,3	3,2	70	1023
Масло сливочное, выработанное:					
поточным способом	326	2,6	0,5	53	667
методом сбивания	286	1,7	–	57	734
Молоко сгущенное:					
с сахаром	31	1,6	0,5	4	175
стерилизованное	38	1,0	0,3	8	280
Молоко сухое:					
цельное	112	4,7	0,65	49	707
обезжиренное	144	6,4	9,2	89	856
заменитель цельного молока	168	5,5	6,2	47	1333

Таблица 14.18

Эффективность различных энергосберегающих мероприятий на мясокомбинатах

Предлагаемое решение	Оценка эффективности
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 %
парку свиней	на 0,31 %
вытопку жира	на 0,15 %
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 %
Увеличение на 1 % загрузки производственных мощностей цехов уменьшает коэффициент прямых затрат тепла на выработку:	
мяса свинины	на 0,12…0, 15 %
мяса говядины	на 0,11…0,13 %
мяса птицы	на 0,1…0,14 %
колбасных изделий	на 0,32…0,38 %
сухих животных кормов	на 0,15…0,18 %
пищевых жиров	на 0,1 %
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 %

Окончание табл. 14.18

Предлагаемое решение	Оценка эффективности
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 обусловливает 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 %
Закрытие крышками варочных котлов во время работы позволяет уменьшить потери тепла с открытой поверхности	в 5 – 6 раз
При открытой крышке варочной камеры теряется с поверхности жидкости при ее температуре, °С: 65 80	 2800 ккал/(м^2·ч) 5300 ккал/(м^2·ч)
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 5мм на нагревательных приборах увеличивает расход тепла	на 5 %
Отсутствие утепления окон и дверей увеличивает расход тепла на отопление	до 60 %

Таблица 14.19

Рекомендуемые энергосберегающие мероприятия для предприятий пищевой промышленности

Энергосберегающее мероприятие	Возможная экономия энергоносителей
Хлебопекарная промышленность	
Внедрение хлебопекарных печей типа РЗ-ХПУ и РЗ-ХПА-25 с рециркуляцией топочных газов (вместо печей ПХС-25М)	топливо – 15 %
Внедрение хлебопекарных тупиковых печей Г4-ХПЛ-25, оснащенных собственным парогенератором и теплоутилизатором	топливо – 20 %

Окончание табл. 14.19

Энергосберегающее мероприятие	Возможная экономия энергоносителей
Пивобезалкогольное производство	
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
Масложировая промышленность	
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
Спиртовая отрасль	
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

14.3. Энергосбережение на предприятии

Потенциальные возможности энергосбережения на предприятиях сходны, несмотря на различия в конструкциях промышленных установок и способах их эксплуатации. 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).

5. 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.

Прежде всего необходимо оценить потенциал энергосбережения. С этой целью проводится энергетическое обследование предприятия в соответствии с требованиями Федерального закона «Об энергосбережении». На основании этого обследования и определяются стратегические направления экономии энергии.

Опыт показал, что правильная организация учета энергопотребления позволяет экономить 5 – 10 % энергоресурсов без дополнительных мероприятий в основном только за счет организации автоматизированной системы контроля и учета расхода энергии (мощности) – АСКУЭ.

При составлении программы реализации мероприятий по энергосбережению следует учитывать следующее.

Во-первых, целесообразно реализовать мероприятия организационно-технические. Это в основном повышение уровня технического обслуживания оборудования. На втором этапе целесообразна проработка финансового обеспечения программы (средства предприятия, банковский кредит, кредит под будущую экономию энергоресурсов, возможное финансирование за счет отечественных и международных программ (грантов) и т.д.). На этом же этапе следует организовать контроль результативности выполнения программы. Например, за исходное состояние принимается текущее энергопотребление предприятия до начала выполнения программы энергосбережения. Затем, исходя из анализа существующих возможностей, устанавливают контрольные цифры по сокращению энергопотребления на конец каждого из этапов выполнения программы энергосбережения. Важным аспектом реализации программы является проблема мотивации персонала предприятий на ее выполнение. Информацию о программе энергосбережения необходимо в доступной форме довести до всех участвующих в ней

исполнителей, которые должны знать, что получат реальное вознаграждение при реализации ее этапов.

При разработке мероприятий по энергосбережению на предприятии следует помнить, что имеются два основных направления экономии: совершенствование *энергоснабжения* и совершенствование *энергоиспользования.*

Экономия ТЭР путем совершенствования энергоснабжения

Основными из мероприятий являются:

1. Правильный выбор энергоносителей. Для каждого процесса необходим такой энергоноситель, который обеспечивает наибольший энергетический и экономический эффект. Например, для печей и нагревательных установок должны сравниваться прямое использование топлива и электронагрев; для кузнечно-прессового оборудования – электроэнергия, сжатый воздух и пар (если он имеется на предприятии). Вид энергоносителя выбирают, сопоставляя варианты и комплексно анализируя следующие факторы:

- требования со стороны технологии (изменение качества выпускаемой продукции, расход сырья и пр.);
- экономические различия в конструкции и условиях эксплуатации оборудования;
- затраты на сравниваемые энергоносители;
- наличие необходимого оборудования;
- необходимый период времени для осуществления замены оборудования;
- экономический эффект от использования ВЭР, затраты на экологические мероприятия.

Затраты по рассматриваемым вариантам определяются по выражению

$$З = Е \cdot К_п + И_п + Э_{уд} \cdot П \cdot З_{уд.з.} - \Sigma\Delta З_i,$$

где Е – срок окупаемости; $К_п$ – капитальные затраты на данную технологическую установку без учета затрат на установки ВЭР; $И_п$ – эксплуатационные издержки без энергетической составляющей; $Э_{уд}$ – удельный расход энергоресурсов; П – годовой выпуск продукции; $З_{уд.з}$ – приведенные удельные затраты (тарифы) на энергоносители; $\Sigma\Delta З_i$ – эффект от использования ВЭР.

Для предприятий допускается оценка сравниваемых вариантов по действующим тарифам на энергию, если затраты на мероприятия покрываются из фонда предприятия.

2. Уменьшение числа преобразований энергии. Так как каждое преобразование энергии связано с потерями, то чем меньше последовательных преобразований претерпевает энергия, тем выше общий КПД. Экономически, например, целесообразна замена сжатого воздуха электроэнергией всюду, где это возможно по технологическим условиям.

3. Разработка рациональных схем энергоснабжения. Схема энергоснабжения завода – сложный комплекс, в котором взаимозависимы и часто взаимозаменяемы отдельные энергоносители. Разработка комплексной схемы энергоснабжения, увязанной с технологией и учитывающей технологически необходимые параметры всех энергоносителей, вскроет резервы экономии и покажет очередность их реализации. Основные пути решения проблем газосбережения представлены в [73].

4. Автоматизация энергоснабжающих установок. Сюда относятся такие мероприятия, как автоматизация отопительных агрегатов, бойлерных установок, подстанций и внедрение телеуправления и автоматического регулирования параметров энергии различных двигателей и агрегатов.

5. Повышение качества энергоресурсов. Любое изменение параметров энергоресурсов (давления, температуры, влажности, сернистости, зольности, качества электроэнергии и т.п.) приводит к ухудшению качества продукции и перерасходу энергоресурсов.

Экономия ТЭР путем совершенствования энергоиспользования

Данные мероприятия разрабатываются технологами совместно с энергетиками. Основными из них являются:

1. Организационно-технические мероприятия.
2. Внедрение технологических процессов, оборудования, машин и механизмов с улучшенными энерготехнологическими характеристиками.
3. Совершенствование действующих технологических процессов, модернизация и реконструкция оборудования.
4. Повышение степени использования ВЭР.
5. Утилизация низкопотенциального тепла.

Покажем направления совершенствования энергоиспользования на примере ряда технологических агрегатов металлургического назначения.

Индукционные печи и установки. Индукционный нагрев и плавка металлов широко используются в металлургической, машиностроительной и других отраслях промышленности. Индукционный нагрев токами промышленной частоты (50 и 60 Гц) применяется для сквозного нагрева металлов при прокатке, ковке и штамповке. Мощности этих установок достигают 30 МВт. Индукционные установки высокой частоты (от 100 Гц до 1 млн Гц) применяются в термических, прокатных, трубопрокатных производствах для термообработки деталей, сварки труб, выращивания монокристаллов и т.д. Мощность этих установок достигает 10 МВт. Индукционные печи для плавки металлов по принципу действия делятся на *канальные* и *тигельные*. Канальные печи применяются для плавки меди, латуни, цинка, алюминия. Они имеют мощность до 4000 кВ·А и работают на промышленной частоте (50 и 60 Гц). Тигельные печи применяются для плавки чугуна, алюминиевых и медных сплавов. Они имеют мощность до 20000 кВ·А и работают как на промышленной, так и на повышенной частоте – 500, 1000 и 2400 Гц. В последние годы наметилась тенденция применения индукционных канальных и тигельных печей для плавки электростали. Удельные расходы электроэнергии в индукционных установках зависят от

типа расплавляемого металла и лежат в следующих пределах, кВт·ч/т:

Тигельные для плавки чугуна…….600 – 800

Канальные для плавки:

меди…….250 – 300

медных сплавов……...160 – 220

алюминия и его сплавов……360 – 500

цинка…….90 – 120

Индукционный нагрев металлов……300 – 400

Энергетический баланс индукционных печей свидетельствует о том, что на удельные расходы электроэнергии в них влияют: производительность; температура загружаемой шихты; температура кладки печи; величина зумпфа (жидкого металла, оставляемого в печи после плавки), тепловые и электрические потери.

Электропечи сопротивления. По технологическому назначению печи сопротивления можно разделить на три группы:

1. Термические печи для различных видов термической и термохимической обработки черных и цветных металлов, стекла, керамики, металлокерамики, пластмасс и других материалов.

2. Плавильные печи для плавки легкоплавких цветных металлов и химически активных тугоплавких металлов и сплавов.

3. Сушильные печи для сушки лакокрасочных покрытий, литейных форм, металлокерамических изделий, эмалей и т.п.

По характеру работы печи сопротивления разделяют на печи *непрерывного* и *периодического* действия. Мощность печей от 5 до 10000 кВт.

Основными путями снижения удельных расходов энергии являются: снижение тепловых потерь, в том числе и за счет улучшения теплоизоляции; повышение производительности печей; уменьшение потерь на аккумуляцию тепла и предварительный нагрев изделий; оптимизация и автоматизация электрических и технологических режимов работы печи.

Электросварочные установки. Организационно-технические меро-

приятия по экономии электроэнергии в электросварочных установках можно условно разделить на две основные группы: *технологические* и *энергетические*. Наибольшие возможности экономии электроэнергии имеются в технологии сварочного производства, и только 20 – 30 % дают энергетические мероприятия. Основные мероприятия по снижению удельных расходов электроэнергии на сварку:

- оптимальный выбор способа сварки;
- совершенствование технологии электросварки;
- снижение электрических и тепловых потерь;
- устранение холостого хода сварочных агрегатов;

Оптимальный выбор способа сварки. Здесь возможны следующие пути:

- Замена ручной дуговой сварки на переменном токе автоматической под флюсом (позволяет получить 5 – 7 % экономии электроэнергии).
- Переход от ручной электросварки на постоянном токе к полуавтоматической в среде углекислого газа (уменьшает удельный расход электроэнергии в 2 – 2,5 раза).
- Замена ручной дуговой электросварки точечной контактной (уменьшает удельные расходы электроэнергии в 2 – 2,5 раза).
- Замена дуговой электросварки на шовную контактную (снижает расход электроэнергии на 15 %).
- Перевод ручной дуговой сварки с постоянного тока на переменный (уменьшает расход электроэнергии в 2 – 3 раза).

При контактной сварке наиболее экономичной является точечная, поэтому расширение применения точечной сварки дает большую экономию электроэнергии.

Совершенствование технологии электросварки возможно:

- за счет использования электродов с покрытием, в которое введен железный порошок (позволяет увеличить силу сварочного тока, повысить производительность и снизить удельные расходы электроэнергии на 8 – 12 %);

– применения присадки в виде металла в порошке (при сварке под флюсом $W_{уд}$ снижается на 30 – 40 %);

– применения электрошлаковой сварки при сварке металлов большой толщины;

– введения контактной сварки на жестких режимах;

– правильного выбора режимов работы.

Точечную рельефную и шовную сварку изделий можно производить на мягких и жестких режимах. Расчеты показывают (табл. 14.20), что при сварке на жестких режимах (повышенный ток $I_{св}$, но уменьшенное время сварки $t_{св}$) расходы электроэнергии снижаются в 1,5 – 4,0 раза. Поэтому при выборе режимов сварки надо ориентироваться на жесткие.

На потери электроэнергии в электросварочных установках значительное влияние оказывает коэффициент загрузки $K_з$ и активное сопротивление сварочного контура R_2. Оптимальный коэффициент загрузки $K_{з.опт}$ электросварочной установки, соответствующий максимуму КПД $\eta_э$, равен

$$K_{з.опт} = \Delta P_{х.х}/\Delta P_{к.з},$$

где $\Delta P_{х.х}$, $\Delta P_{к.з}$ – потери холостого хода и короткого замыкания.

Таблица 14.20

Снижение расхода электроэнергии при переходе от мягкого к жесткому режиму сварки

Толщина свариваемого металла, мм	Режим				Относительное снижение расхода, разы
	Мягкий		Жесткий		
	$I_{св}$, кА	$t_{св}$, с	$I_{св}$, кА	$t_{св}$, с	
0,8 + 0,8	7,0	0,3	9,5	0,08	2,03
1,0 + 1,0	7,5	0,4	0,5	0,08	2,55
1,2 + 1,2	8,0	0,4	11,5	0,1	1,94
1,5 + 1,5	8,5	0,4	13,5	0,14	1,13
2,0 + 2,0	7,0	2,0	9,0	0,25	4,84
2,5 + 2,5	9,0	2,0	12,0	0,4	2,81
3,0 + 3,0	10,0	2,0	16,0	0,6	1,31
4,0 + 4,0	12,0	2,0	18,0	0,8	1,11

Если учитывать только электрические потери, то для всех типов сварочных установок $K_{з.опт}$ = 0,2 – 0,3. Работа электросварочных установок с указанными $K_{з.опт}$ является явно не оптимальной, поэтому при выборе $K_{з.опт}$ необходимо учитывать и тепловой КПД.

Для сварки изделий из стали можно рекомендовать следующие $К_{з.опт}$: 0,5…0,8 – точечные подвесные; 0,65…1,5 – многоточечные; 0,7…0,8 – шовные.

Внедрение ограничителей холостого хода сварочных преобразователей и трансформаторов дает экономию электроэнергии в размере 15 – 20 % на каждой установке.

Наряду с перечисленными мероприятиями можно также рекомендовать:

– замену контактных однофазных машин переменного тока машинами постоянного тока, позволяющую экономить электроэнергию за счет уменьшения мощности машин и индуктивного сопротивления вторичного контура

– периодическую проверку сопротивления вторичных контуров и состояния их контактов, особенно у подвесных сварочных машин;

– применение электрошлаковой сварки для соединения деталей толщиной более 30 – 40 мм вместо дуговой сварки.

Системы снабжения потребителей сжатым воздухом

Сжатие воздуха – неэффективный с энергетической точки зрения процесс, так как КПД этого процесса находится в пределах 10 %.

В установках сжатого воздуха применяются центробежные, осевые, поршневые, винтовые компрессоры.

Снизить затраты электроэнергии в установках сжатого воздуха возможно:

– за счет снижения номинального рабочего давления компрессора и в сети сжатого воздуха;

– понижения температуры воздуха, всасываемого компрессорами;

– отключения лишних компрессоров при снижении расходов сжатого воздуха;

– внедрения в поршневых компрессорах прямоточных клапанов;

– уменьшения длины магистральной и распределительной сети подачи сжатого воздуха;

– использования эффекта резонансного наддува поршневых компрессоров;

– подогрева сжатого воздуха перед пневмоприемниками;

– замены компрессоров старых конструкций на новые с более высоким КПД;

– систематического контроля за утечками сжатого воздуха;

– отключения отдельных участков или всей сети сжатого воздуха в нерабочее время;

– замены пневмоинструмента на электроинструмент.

Потребление сжатого воздуха с давлением выше необходимого приводит к непроизводительному расходу электроэнергии. Понижение давления у потребителей сжатого воздуха может быть осуществлено с помощью редуктора, инжектора, дросселированием и регулированием давления. Наиболее эффективно применение регуляторов давления. Потери энергии (кВт·ч/год) при использовании сжатого воздуха при давлении выше номинального определяются как

$$\Delta W = \frac{1{,}1(A_1 - A_2)60\Pi t_{\text{р.г}}}{367200\eta_{\text{с}}\eta_{\text{э}}\eta_{\text{м}}\eta_{\text{п}}\eta_i},$$

где A_1, A_2 – работа сжатия 1 м^3 при повышенном и номинальном давлении, Дж/м^3; П – производительность компрессора, м^3/мин; $t_{\text{р.г}}$ – время работы компрессора в год, ч; η_i, $\eta_{\text{с}}$, $\eta_{\text{э}}$, $\eta_{\text{п}}$ – КПД индикаторной части, электрической сети, электродвигателя, передачи, $\eta_{\text{м}}$ – КПД механизма, потребляющего сжатый воздух.

Необходимо избегать уровней давления выше 5 бар. Понижение давления на 1 бар дает экономию энергии в 5 – 10 %.

Опыт эксплуатации показывает, что при установке прямоточных клапанов вместо кольцевых (пластинчатых) удельный расход электроэнергии на выработку сжатого воздуха снижается в среднем на 13 – 15 % при одновременном увеличении подачи компрессоров на 10 %.

Одним из эффективных способов экономии электроэнергии при использовании сжатого воздуха является теплоизоляция воздухопровода, позволяющая подать потребителю сжатый воздух с повышенной температурой. При этом уменьшается расход воздуха и, следовательно, потери электроэнергии.

Экономия электроэнергии за счет теплоизоляции составляет

$$\Delta W = 0{,}22\Pi \cdot \Delta\Theta \cdot w_{\text{уд}} t_{\text{р.г}},$$

где $\Delta\Theta$ – разность температур до устройства теплоизоляции воздухопровода и после; $w_{\text{уд}}$ – удельный расход электроэнергии на выработку 1 м^3 сжатого воздуха, кВт·ч/м^3.

Применение компрессоров новых конструкций с более высоким КПД взамен устаревших дает экономию электроэнергии

$$\Delta W = (P_1 - P_2) t_{\text{р.г}} \cdot 10^{-3},$$

где P_1 и P_2 – мощности электродвигателей старого и нового компрессора, кВт.

Правильный выбор места забора воздуха и прокладки всасывающего воздуховода (в тени, на северной стороне здания, в отдельности от цехов и стен с большими тепловыми выделениями) снижает расход электроэнергии на выработку сжатого воздуха на 1 % на каждые 2,5 °С понижения температуры всасываемого воздуха.

Использование эффекта резонансного наддува цилиндров поршне-

вых компрессоров путем обеспечения рациональной длины всасывающего воздуховода или включения в воздуховод резонатора определенного объема сокращает удельный расход электроэнергии примерно на 3 – 5 % при одновременном повышении производительности до 5 – 8 %.

Внедрение автоматических регуляторов компрессоров для обеспечения постоянного давления у пневмоприемников дает экономию электроэнергии от 15 до 30 % в зависимости от режима потребления.

Устранение вибрации воздухопроводов и пульсаций в них воздуха путем установки ресивера на вводах в литейные, кузнечно-прессовые и другие цехи с резко пульсирующим потреблением сжатого воздуха может дать до 20 % и более экономии электроэнергии.

Повседневная борьба с утечками сжатого воздуха путем систематического контроля за состоянием сети и оборудования (и устранения дефектов), установки самозапирающихся клапанов, пистолетов, штуцеров, зажимов позволит снизить непроизводительные потери сжатого воздуха на 10 –20 % и более. Снижения потерь воздуха и нерациональных потерь давления можно также добиться:

1) за счет отключения цехов и участков в нерабочее время;

2) разделения питающих воздуходувов для потребителей высокого и низкого давления, а также для потребителей с неравномерным и переменным режимами работы;

3) в отдельных случаях дросселирования воздуха у потребителей низкого давления при отборе из сети высокого давления.

Большую экономию электроэнергии можно получить путем правильного выбора числа и мощности компрессоров, особенно это касается крупных компрессоров, при их работе на односменных и двусменных предприятиях, так как они имеют ограничение по числу возможных пусков. Это приводит к тому, что компрессоры работают непрерывно с частичным снижением нагрузки при дросселировании на всасывании в нерабочее время. Это приводит к потерям электроэнергии до 60 – 70 %.

На крупных предприятиях следует идти на децентрализованные системы снабжения потребителей сжатым воздухом, что позволит значительно снизить мощности компрессоров и потери в магистральных сетях.

Для регулирования подачи следует применять параллельно работающие компрессорные агрегаты или регулирование частоты вращения компрессоров (частотное регулирование).

Насосные установки

В зависимости от назначения и рода перекачиваемой жидкости насосные установки подразделяются на водопроводные, канализационные, мелиоративные, теплофикационные, нефтеперекачивающие и др.

На современных насосных установках наибольшее распространение получили центробежные и осевые лопастные насосы.

Центробежные насосы регулируются изменением частоты вращения рабочих колес или изменением степени открытия задвижки (затвора) на напорной линии. Прикрывая или открывая затвор, изменяют крутизну характеристики *G–H* трубопровода (рис. 14.1), которая зависит от его гидравлического сопротивления. Прикрывая затвор, увеличивают крутизну характеристики, при этом рабочая точка насоса A_1 перемещается в положение A_2, подача уменьшается до значения G_2, напор, развиваемый насосом, возрастает до значения H_2, а напор на трубопроводе за затвором снижается до значения H'_2 за счет потерь напора $\Delta H_{\text{п}}$ в затворе.

Увеличивая степень открытия затвора, уменьшают крутизну характеристики трубопровода. Этот способ регулирования считается малоэкономичным, так как на преодоление дополнительного гидравлического сопротивления в затворе требуются дополнительные затраты энергии.

При изменении частоты вращения насоса изменяется положение его характеристики *G–H*. Уменьшая частоту вращения, перемещают характеристику вниз параллельно самой себе. При этом рабочая точка, перемещаясь по характеристике трубопровода, занимает положение A'_2, следова-

тельно, подача уменьшается так же, как и напор в сети и напор, развиваемый насосом.

Мощность электродвигателя насоса определяется по выражению, кВт

$$P_{н} = \frac{k_{зап} \cdot G_{н} \cdot (H_{с} + \Delta H) \cdot \gamma}{367200 \cdot \eta_{н} \cdot \eta_{эд}},$$

где $k_{зап}$ – коэффициент запаса (при $G_н$ < 100 м^3/ч; $k_{зап}$ = 1,2 – 1,3; при $G_н$ > 100 м^3/ч; $k_{зап}$ = 1,1 – 1,5); $H_с$ – статический напор (сумма высот всасывания и нагнетания), м вод. ст.; ΔH – потери напора в трубопроводах, м вод. ст.; $\eta_н$ – КПД насоса; $\eta_{эд}$ – КПД электродвигателя; γ – плотность жидкости, кг/м^3; $G_н$ – подача насоса, м^3/ч.

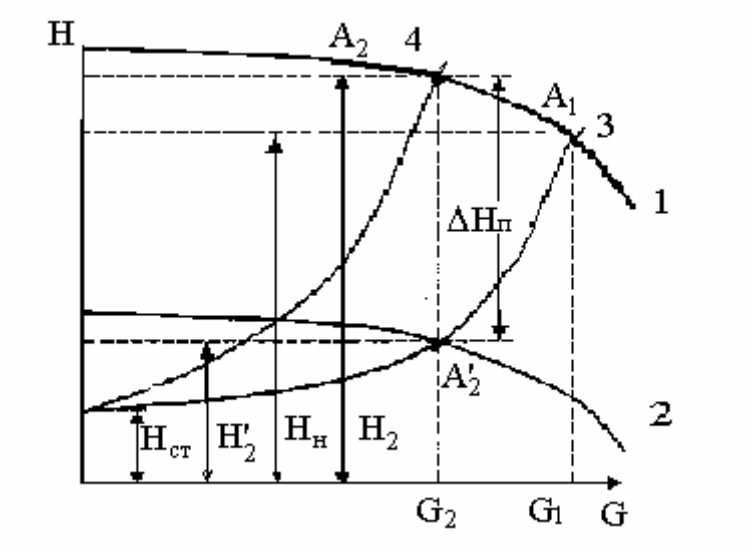


Рис. 14.1. Регулирование режима работы центробежного насоса:
1 – характеристика *G-H* насоса при номинальной частоте вращения;
2 – то же при уменьшенной частоте вращения; 3 – характеристика *G-H* трубопровода при полном открытии затвора; 4 – то же при уменьшении степени открытия затвора

Удельный расход электроэнергии в насосных установках определяется по выражению, кВт · ч/м^2:

$$w_{\text{уд}} = \frac{0{,}00272(H_{\text{с}} + \Delta H)}{\eta_{\text{н}}\eta_{\text{эд}}}.$$

Как видно из данного выражения и рис. 14.1, экономии электроэнергии в насосных установках можно добиться:

1) правильным выбором характеристик насосного агрегата ($G_{\text{н}}$, H);

2) повышением КПД насосов и приводных электродвигателей;

3) повышением загрузки насосов и совершенствованием регулирования их работы;

4) уменьшением сопротивления трубопроводов;

5) сокращением расхода и потерь воды.

Исследование насосных станций показывает, что в ряде случаев наблюдается несоответствие паспортных характеристик насосов ($G_{\text{н}}$, H) фактическим характеристикам систем водоснабжения.

При работе насосной установки с подачей меньше расчетной возникает несоответствие между напором, развиваемым насосом, и напором, требуемым для подачи того или иного количества жидкости (т. е. превышение напора насоса). Из рис. 14.1 видно, что при уменьшении подачи требуемый для сети напор уменьшается, а развиваемый насосом напор увеличивается. Разность значений этих напоров $\Delta H_{\text{п}} = H_{\text{н}} - H_{\text{с}}$.

Из графика совместной работы насоса и трубопровода видно, что значение $\Delta H_{\text{п}}$ тем больше, чем круче характеристики насоса и трубопровода и чем меньше фактическая подача насоса по сравнению с расчетной.

Годовые потери электроэнергии за счет повышения напора составят, кВт·ч:

$$\Delta W = \frac{k_{\text{зап}} G_{\text{н}} \Delta H_{\text{п}} \gamma}{367200 \cdot \eta_{\text{н}}\eta_{\text{эд}}} \cdot T_{\text{г}},$$

где $T_г$ – годовое время работы насоса с превышением напора на $\Delta H_п$. Если насос работает с переменным напором и давлением, то

$$\Delta W = \frac{k_{зап}\gamma}{367200 \cdot \eta_н \eta_{эд}} \cdot \sum_{i=1}^{n} G_{нi} \cdot \Delta H_{пi} T_г,$$

где $G_{нi}$ – напор на i-м интервале времени, $\Delta H_{пi}$ – превышение напора на i-м интервале времени; $T_г$ – годовая продолжительность i-го интервала; n – число интервалов изменения напоров.

Регулирование работы насосов. В практике неизменных (постоянных) режимов водоснабжения не бывает. Насосы работают в переменном режиме в зависимости от режимов потребления воды (рис. 14.2). Поэтому правильное изменение режимов работы насосов, т. е. рациональное регулирование, обеспечивает значительную экономию электроэнергии. Регулирование режима работы насосов может осуществляться напорной или приемной задвижкой; изменением числа параллельно работающих насосов; изменением частоты вращения электродвигателя.

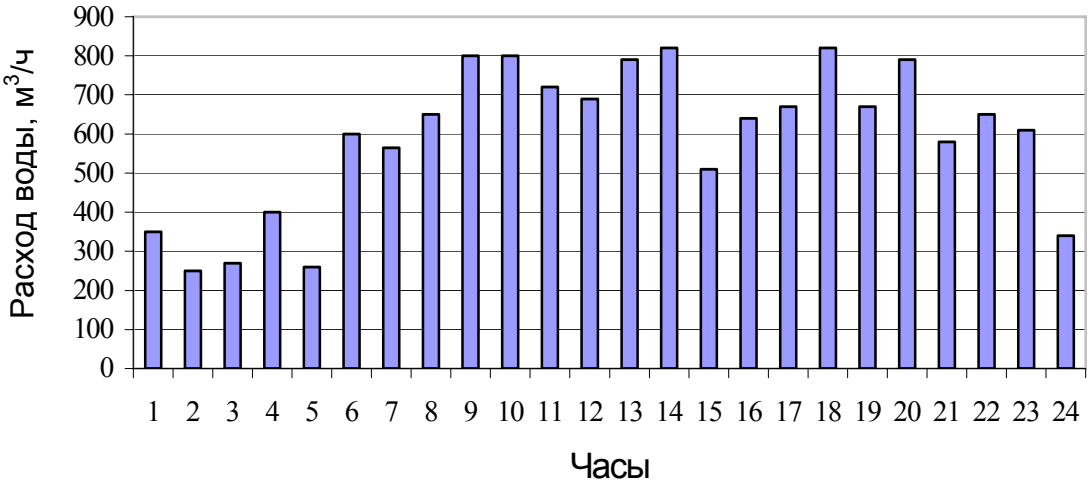


Рис. 14.2. Суточный отпуск воды со 2-го подъема водопроводной станции

Анализ этих способов регулирования показывает следующее:

– при регулировании задвижкой с уменьшением расхода воды КПД насоса уменьшается, а значения напора растут. Следовательно, с уменьшением расхода воды удельный расход электроэнергии быстро возрастает;

– при регулировании изменением числа параллельно работающих насосов КПД двигателя и насоса остаются неизменными. Напор из-за уменьшения расхода и потерь в сетях снижается, что приводит к снижению удельных расходов электроэнергии;

– при регулировании изменением частоты вращения насоса КПД насоса и электродвигателя с уменьшением расхода практически не снижается, но снижается напор. Поэтому снижаются удельные расходы электроэнергии.

Частотное регулирование осуществляется с помощью преобразователей частоты. Оно позволяет:

– автоматически поддерживать необходимое давление воды при изменении объема водопотребления;

– в 2 – 3 раза увеличить срок службы электродвигателей и насосов за счет исключения перегрузок при потреблении воды, а также при посадках напряжения в сети;

– увеличить срок службы трубопроводов за счет отсутствия избыточного давления;

– сократить расход воды за счет уменьшения потерь при избыточном давлении (в системах водоснабжения каждая лишняя атмосфера вызывает в результате больших утечек дополнительно 7 – 9 % потерь воды);

– сократить трудозатраты на эксплуатацию систем водоснабжения за счет бесперебойной работы насосов, а также автоматического отключения с выработкой командного сигнала на подключение резервного насоса и применения автоматизации управления от АСУТП.

Годовой экономический эффект при применении частотного регулирования складывается из трех составляющих:

1) эффекта от снижения потерь электроэнергии за счет повышения КПД насосных агрегатов:

2) эффекта от снижения расходов воды за счет стабилизации давления в системах подачи и распределения воды:

3) эффекта от увеличения срока службы и межремонтных периодов электро- и механооборудования, затрат на приобретение, монтаж и обслуживание запорной арматуры.

Мощность преобразователя частоты определяется по выражению

$$P_{\text{п.ч}} = (1{,}1 - 1{,}2)\cdot P_{\text{н}}.$$

Годовая экономия электроэнергии при внедрении преобразователя определяется как

$$\Delta W_{\text{г}} = \frac{H_{\text{вых}} - H_{\text{необ}}}{367\cdot\eta_{\text{н}}\eta_{\text{эд}}} \cdot \sum_{i=1}^{n} G_{\text{н}i} \cdot T_{\text{г}i}.$$

где $H_{\text{вых}}$ – напор на выходе насоса, м вод. ст.; $H_{\text{необ}}$ – напор, поддерживаемый в магистрали, за задвижкой, м вод. ст.

Повышение КПД насосов. Замена устаревших насосов на новые с более высоким КПД позволяет получить экономию электроэнергии

$$\Delta W_{\text{г}} = 0{,}00272\frac{H}{\eta_{\text{эд}}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{н.н}} - \eta_{\text{н.ст}}} \cdot G_{\text{н}} T_{\text{г}i}.$$

Уменьшение сопротивления трубопроводов. Причины повышенных удельных расходов электроэнергии на подачу воды – неправильная конфигурация трубопровода, когда поток испытывает резкие повороты, засоренность всасывающих устройств и др. Устранение этих причин приводит к уменьшению сопротивления трубопроводов и снижению расхода электроэнергии.

Потери напора в трубопроводе на прямом участке составляют $\Delta H = 0{,}083\ \lambda L G^2/d^5$; для местных сопротивлений $\Delta H = 0{,}083\ \zeta G^2/d^4$, где λ – коэффициент трения воды о стенки труб ($\lambda = 0{,}02 – 0{,}03$); L – длина участка трубопровода, м; G – действительный расход, м^3/с; d – диаметр трубопровода, м; ζ – коэффициент местного сопротивления: для задвижек $\zeta = 0{,}5$; для закругленного на 90 ° колена $\zeta = 0{,}3$; для обратного клапана $\zeta = 5{,}0$.

Утечки воды через неплотности соединений трубопроводов и арматуры ведут к прямым потерям электроэнергии. Значения этих потерь определяются следующими способами:

1) при наличии расходомеров в начале и конце участка распределительной сети потери определяются разностью замеренных расходов воды за отчетный период в начале и конце участка;

2) при разветвленной сети с большим внутренним объемом потери воды можно определить по точному расходомеру, отключив от сети всех потребителей.

Замеренные потери воды необходимо умножить на фактический удельный расход электроэнергии на подачу воды данной насосной, полученное значение равно потерям электроэнергии, вызываемым плохим состоянием водопроводной сети.

Большое количество воды на промышленных предприятиях используется для охлаждения различных технологических установок. Вода для этих целей может использоваться многократно по замкнутому циклу. Внедрение оборотного водоснабжения может сократить расход первичной воды в 2 раза и обеспечить экономию электроэнергии на 15 – 20 %.

Уменьшить расходы воды и соответственно расход электроэнергии можно совершенствованием систем охлаждения металлургических и термообрабатывающих печей, сварочных аппаратов и высокочастотных установок, а также применением схем автоматического управления подачи воды на охлаждение.

Вентиляционные установки

На промышленных предприятиях применяются следующие виды установок:

1) вытяжные, предназначенные для удаления из цеха пыли и газов;

2) приточные, обеспечивающие подачу в цехи свежего воздуха взамен удаленного вытяжной вентиляцией (в зимнее время этот воздух проходит через калориферы и подогревается до определенной температуры);

3) отопительно-циркуляционные, применяемые в относительно чистых цехах, с небольшим выделением вредностей;

4) тепловые завесы, широко применяемые на промышленных предприятиях для сокращения количества холодного воздуха, поступающего в цех при открывании ворот, и его подогрева;

5) производственные, предназначенные для подачи воздуха, без которого невозможен технологический процесс.

Сокращения расхода электроэнергии на вентиляционные установки можно добиться:

• заменой старых вентиляторов новыми, более экономичными;

• внедрением экономичных способов регулирования производительности вентиляторов;

• блокировкой вентиляторов тепловых завес с устройствами открывания и закрывания ворот;

• отключением вентиляционных установок во время перерывов в работе цехов;

• устранением эксплуатационных дефектов и отклонений от проекта;

• внедрением автоматического управления вентиляционными установками. Замена вентиляторов старых типов с низким КПД на вентиляторы нового типа дает экономию электроэнергии, кВт·ч:

$$\Delta W = \frac{h\Pi(\eta_2 - \eta_1)t_{\text{р.г}}}{102\eta_1\eta_2\eta_э\eta_c},$$

где η_1, η_2 – КПД заменяемого и нового вентилятора; h – давление вентилятора, мм вод. ст.; П – подача (производительность), м^3/мин.

Регулировать производительность вентиляторов можно следующими способами:

1) применением многоскоростных электродвигателей вместо регулирования шиберами в напорной линии вентиляционной установки (экономия электроэнергии до 20 – 30 %);

2) регулированием подачи воздуходувок шиберами на всасе вместо регулирования на нагнетании (экономия электроэнергии до 15 %);

3) регулированием вытяжной вентиляции шиберами на рабочих местах вместо регулирования на нагнетании (экономия электроэнергии до 10 %);

4) регулированием подачи дымососа с помощью цилиндрических направляющих аппаратов вместо дроссельных (экономия электроэнергии до 25 %).

Потери электроэнергии в вентиляционной установке можно снизить изменением частоты вращения вала, угла установки лопаток на рабочем колесе, поворотом лопаток направляющего аппарата. Получаемая при этом экономия электроэнергии определяется по выражению, кВт·ч/год

$$\Delta W = \frac{(\Pi_1 \eta_1 h_1 - \Pi_2 \eta_2 h_2)t}{102\eta_1\eta_2\eta_э\eta_с\eta_п},$$

где Π_1, Π_2 – подача вентилятора до и после изменения режима его работы, м^3/с; h_1, h_2 – давление вентилятора до и после изменения режима; η_1, η_2 – КПД вентилятора до и после изменения режима.

При монтаже, сборке и ремонте вентиляционных установок иногда допускаются отступления от проекта, дефекты, приводящие к нерациональным расходам электроэнергии. К подобным дефектам можно отнести:

1) работу осевого вентилятора с перевернутым колесом, при этом снижается КПД вентиляторов на 20 – 40 %;

2) увеличение зазора между рабочим колесом и всасывающим патрубком у центробежных вентиляторов, что также приводит к снижению КПД;

3) снятие обтекателя перед входом в рабочее колесо (снижает КПД на 10 %);

4) укороченный диффузор или его отсутствие у осевых вентиляторов (снижает их КПД на 6 %);

5) некачественное изготовление и монтаж отводов, тройников, колен, вмятины, плохая штукатурка каналов (значительно увеличивают сопротивление системы и соответственно расход электроэнергии);

6) неплотности во фланцевых соединениях, негерметичность подсоединения воздуховодов к вентиляторам и другие источники присосов (вызывают увеличение расхода электроэнергии).

Устройство автоматического регулирования и управления вентиляционными установками в зависимости от температуры наружного воздуха дает экономию электроэнергии до 10 – 15 %.

Станочное оборудование

Основные мероприятия по снижению расходов электроэнергии в станочном оборудовании:

1) внедрение скоростного фрезерования, сверления и шлифования (экономия электроэнергии до 30 %);

2) замена строгания фрезерованием (экономия электроэнергии до 40 %);

3) своевременная и качественная смазка механизмов (экономия электроэнергии до 10 %);

4) регулярная заточка инструмента (экономия электроэнергии до 30 %);

5) применение ограничителей холостого хода на станках, имеющих межоперационное время 10 с и более;

6) замена ненагруженных электродвигателей электродвигателями меньшей мощности (если средняя нагрузка менее 45 % номинальной мощности);

7) замена электродвигателей с электромагнитным возбуждением механизмов подач двигателями с возбуждением от постоянных магнитов;

8) использование специальных серий электродвигателей главного движения с широким диапазоном регулирования в комплекте с бестрансформаторными схемами электроприводов;

9) замена релейно-контактной аппаратуры на бесконтактную интегральную логическую;

10) упрощение кинематической схемы станков (уменьшение числа зубчатых передач, редукторов, внедрение автоматических коробок передач и др.).

Мероприятия 7 – 10 позволяют повысить КПД станков на 5 – 10 % и соответственно снизить потребление электроэнергии.

Кузнечно-прессовое оборудование

Основные мероприятия по снижению электропотребления в кузнечно-прессовом оборудовании:

- применение ограничителей холостого хода;
- применение принудительной циркуляции жидкой смазки (повышает КПД на 5 – 10 %);
- применение направляющих качения вместо скольжения (повышает КПД на 5 – 7 %);
- применение уравновешивателей кривошипного механизма;
- применение на механических прессах безмуфтового привода (повышает КПД на 15 – 20 %);
- повышение точности и снижение шероховатости сочленяемых элементов конструкции;
- упрощение кинематических схем.

Экономию электроэнергии от совершенствования конструкции и повышения технического уровня кузнечно-прессовых машин можно определить по выражению

$$\Delta W = \frac{P_{\text{д}} \Pi_{\text{г}} k_{\text{з}} k_{\text{в}} t_{\text{г.ф}} d}{\eta_{\text{э}}}$$

где $P_{\text{д}}$ – мощность электродвигателя, кВт; $\Pi_{\text{г}}$ – годовая производительность, шт.; $k_{\text{з}}$, $k_{\text{в}}$ – коэффициенты загрузки, включения; $t_{\text{г.ф}}$ – годовой фонд рабочего времени; d – коэффициент, учитывающий повышение КПД оборудования.

В заключение данного раздела приведем перечень наиболее эффективного энергосберегающего оборудования.

Энергосберегающее оборудование *Повышение эффективности, %*

Смесительные теплогенераторы на природном газе для отопления (например, нагревательные ВСН-90 «Самум») ….……. 60

Теплогенераторы косвенного нагрева воздуха для отопления ……. 25 – 30

Излучающие газовые нагреватели (инфракрасного излучения) ….. 40 – 50

Пластинчатые теплообменники, взамен кожухотрубных …….. 50

Автоматизированные котельные установки блочного типа …….. 20

Электрогенераторы с двигателями внутреннего сгорания, работающими на природном газе …….. 40

Турбогенераторы противодавленческого типа для производственно-отопительных котельных ……..…….. 60

Регулируемый электропривод насосных и тому подобных агрегатов... до 50

Пенополиуретановая тепловая изоляция с водонепроницаемым покровным слоем …… до 40

Полимерные трубы для водоснабжения ……..... до 20

Стабилизационная обработка воды антинакипинами …… до 25

Стеклопакеты с теплоотражающими пленками …….. до 10

Теплоотражатели за отопительными приборами (например, пенофол) …….. до 10

Водоэкономная водоразборная арматура (установка рассекателей, прерывателей потока и др.) ……..... в 2-3 раза

Терморегуляторы для отопительных батарей ……. 20 – 25

Эффективные источники света, например, ДРИ, ЛЛ, ДНаТ и др. ….. до 60

Контрольные вопросы

1. Оцените потенциальные возможности энергосбережения в одной из отраслей – металлургия, машиностроение и др.
2. Назовите основные мероприятия по совершенствованию энергоснабжения.
3. Что такое частотное регулирование привода насосов, вентиляторов и др.?
4. Приведите примеры энергосберегающего оборудования.

15. Стратегия социально-экономического развития региона: энергетическая составляющая

15.1. Схема развития и размещения производительных сил

Одной их важнейших задач государства в новых экономических условиях является выработка стратегии развития страны и, прежде всего, ее производительных сил. При этом государство должно четко определить свои стратегические интересы и приоритеты, выделить важнейшие составляющие экономического потенциала.

Свердловская область первой в России в 1999 г. осуществила конкретные действия по разработке стратегического документа на долгосрочную перспективу. Называется он «Схема развития и размещения производительных сил Свердловской области на период до 2015 г.» [21].

Главная цель экономического и социального развития Свердловской области заключается и создании многосекторной социально ориентированной рыночной экономики, базирующейся на новом научно-техническом укладе и информационно-индустриальных технологиях и обеспечивающей переход к новым стандартам качества жизни и среды обитания населения области, строительство современного демократического общества.

Главная задача – формирование материальной, научно-технологической, финансово-экономической и социальной базы, позволяющей выйти на траекторию устойчивого экономического роста и обеспечить рациональное размещение производительных сил на территории области, повысить благосостояние населения.

Основу стратегии составляет ориентация в основном на собственный совокупный ресурсный потенциал (производственный, научно-технический, трудовой и природный), внутренние источники накопления, которые позволяют в ближайшие 10 – 15 лет закрепить стартовые условия

необходимого экономического роста, продолжить реструктуризацию экономики на современной технико-экономической основе.

Основными составляющими стратегии являются [57]:

1) повышение качества трудовых ресурсов через развитие научно-образовательной сферы и укрепление системы профессиональной подготовки и переподготовки кадров, так как квалифицированные кадры и высокие технологии составляют основу современной экономики;
2) формирование отраслевой и территориальной структуры реального сектора, отвечающей современным требованиям экономического роста на основе инновационного обновления производства, повышения его эффективности и конкурентоспособности. Инновационное обновление производства целесообразно начать с приоритетных направлений, так называемых прорывных технологий, в которых Россия сохранила достаточно сильные позиции. Это металлургия и химия, радиотехническая промышленность и транспортное машиностроение, атомная энергетика и приборостроение, производство важнейших комплектующих для авиа- и ракетостроения;
3) осуществление модернизации производства с преимущественно сырьевой направленности на выпуск продукции высокой степени обработки и качества, увеличение в объеме конечного продукта доли потребительских товаров и услуг для населения на основе повышения роли науки, научно-технических достижений;
4) развитие и оптимизация производственной и социальной инфраструктуры, сглаживание межотраслевых диспропорций, усовершенствование территориальных пропорций экономического развития, улучшение социальных и экологических условий среды обитания.

В Схеме предусмотрены два варианта развития экономики области.

Первый вариант основан, главным образом, на прогнозных показателях, разработанных непосредственно предприятиями. Он ориентирован

на инерционное развитие в соответствии со складывающимися тенденциями в экономике России при закреплении существующей промышленной специализации региона. При формировании основных параметров экономического развития выдержана ориентация на максимальное использование собственных инвестиционных ресурсов, незагруженных производственных мощностей при сохранении кадрового потенциала и создании щадящего экологического режима хозяйственной деятельности.

Второй вариант предусматривает активизацию инвестиционной, природоохранной деятельности не только предприятий, но и субъектов рыночной инфраструктуры, науки, внешних инвесторов при ускоренном развитии сервисной экономики, превращении области в центр производства и потребления научно-исследовательских, инновационных, информационных, образовательных, финансовых, торговых, транспортных и других услуг.

На начальном этапе (до 2005 г.) предполагалась ориентация области в основном на использование экспортного потенциала черной, цветной металлургии, машиностроения, более полную загрузку эффективной части существующих производственных мощностей, проведение мер по ресурсосбережению, техническому перевооружению и повышению эффективности производства. В реальном секторе – закрепление достигнутого экономического роста, создание условий для накопления инвестиций и наращивания объемов производства наукоемкой, конкурентоспособной и востребованной рынком продукции и технологий.

В этот же период предполагалось подготовить условия для выхода на передовые рубежи машиностроения, которое может быть востребовано в связи с нарастанием процесса массового выбытия активной части основных фондов, например, в сельском хозяйстве, железнодорожном и трубопроводном транспорте, энергетике, гражданской авиации и т.д.

2-й этап (2006 – 2010). Стратегия использования производственно-технологического потенциала переходит в стратегию обновления. Она

формируется с учетом возможности широкомасштабной реконструкции действующих и обновления неиспользованных мощностей с целью выпуска конкурентоспособной продукции на внутреннем и внешнем рынках. Такими мощностями в Свердловской области обладают предприятия машиностроения, легкой промышленности, по производству конструкционных материалов.

Реализация стратегии обновления потребует роста инновационной активности, дополнительных мер поддержки со стороны правительства области как производителей, так и потребителей новой техники и услуг. При этом должны резко возрасти расходы самих предприятий на исследования и освоение нововведений. Такие меры, как система налоговых преференций и др., позволят получить положительные результаты от реализации стратегии обновления за счет приростов объемов производства и расширения номенклатуры товаров и услуг, увеличения налогооблагаемой базы, а следовательно, и увеличения бюджетного эффекта.

Этап до 2010 г. будет сопровождаться более ускоренным и широкомасштабным развертыванием инвестиционной деятельности, качественными изменениями в отраслевой и технологической структуре производства на инновационной основе.

3-й этап (до 2015 г.) должен стать прорывным: стратегия замены должна быть направлена на последовательное замещение производственно-технологического потенциала, созданного на первых двух этапах, инновационно емкими производствами с целью преодоления технологического отставания и повышения конкурентоспособности экономики.

На рис. 15.1 представлены макроэкономические ориентиры основного стратегического документа. Схема развития предполагает, что к 2015 г. в целом по Свердловской области в сопоставимых с 2000 г. условиях валовой региональный продукт вырастет примерно втрое, продукция промышленности по ряду крупных и средних предприятий в 2,5 – 2,7 раза, валовая продукция сельского хозяйства более чем вдвое, объем инвестиций в ос-

новной капитал в 6,5 – 7,5 раз, оборот розничной торговли в 3 – 4 раза. Реальная заработная плата за этот период возрастет в 3,7 – 4 раза.

Среди базовых вариантов формирования созидательной стратегии развития для Свердловской области можно выделить два возможных подхода: экспортно-наукоемкий и ресурсно-наукоемкий.

Экспортно-наукоемкий подход, предусматривающий увеличение объемов экспорта наукоемкой продукции на мировые рынки, представляется мало-реалистичным (с позиции его возможности выступать в качестве основы созидательной стратегии). Это связано, во-первых, с высоким уровнем конкуренции и защитой международных рынков от внешних (в том числе и от российских) конкурентов, во-вторых, с неготовностью национальных производителей к массовому выпуску экспортно ориентированной наукоемкой продукции.

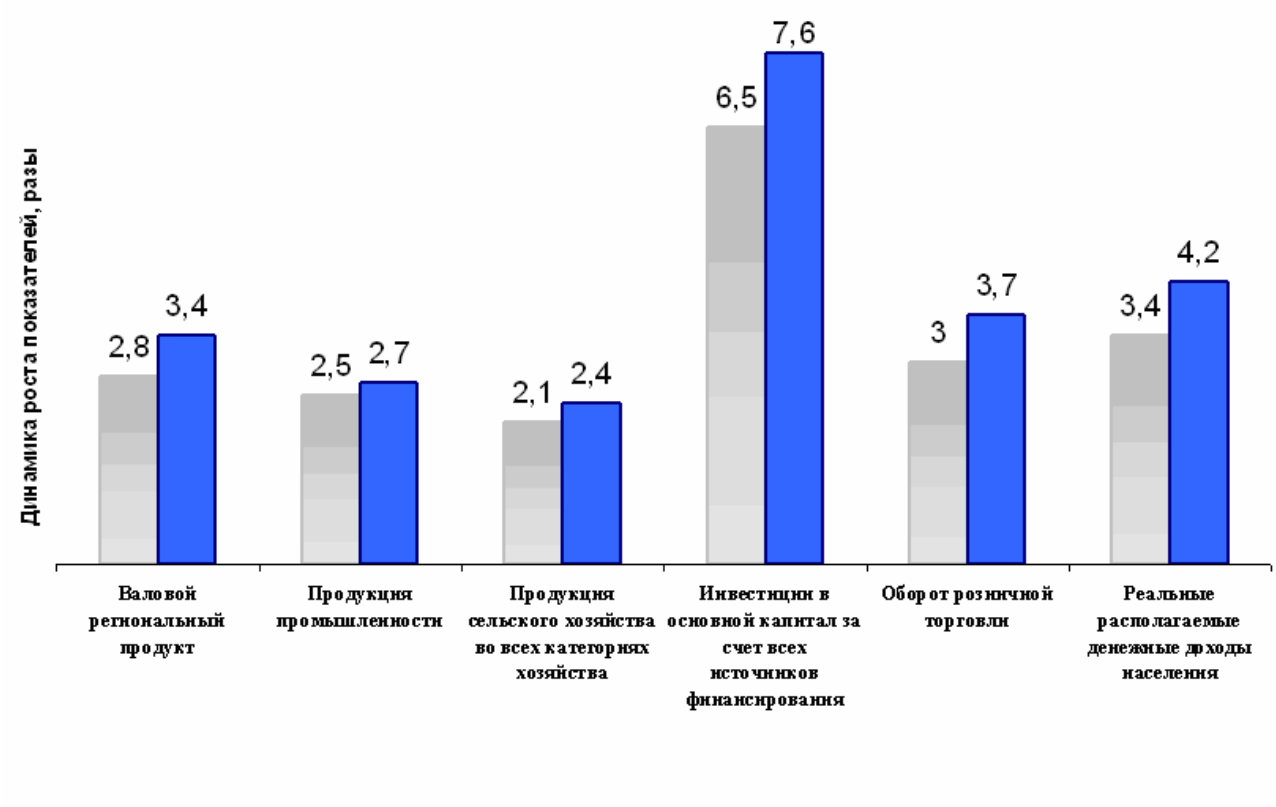


Рис. 15.1. Рост макроэкономических показателей экономики Свердловской области к 2015 г.:

Ресурсно-наукоемкий подход к формированию созидательной стратегии экономического развития представляется более реалистичным. В его основе лежит главное условие – последовательное сокращение доли экспорта продукции первичного передела с целью увеличения объема внутренней эффективной ее переработки с последующим наращиванием экспорта конечной продукции с высокой долей овеществленного труда.

Как показали итоги работы в 2001 – 2004 гг. и прогнозные оценки на 2005 г., использование части первичных ресурсов для оживления областной перерабатывающей промышленности позитивно повлияло на смежные с ней секторы: обрабатывающую промышленность, инфраструктуру, промышленное и гражданское строительство и др.

Можно уверенно сказать, что все контрольные задания первого этапа Схемы развития (2001 – 2005) Свердловской областью будут не только достигнуты, но и перевыполнены. Предварительные расчеты показывают:

– прирост валового регионального продукта Свердловской области в 2005 г. по сравнению с 2000 г. будет превышен на 14 – 18 процентных пунктов относительно установок стратегии, табл. 15.1;

– индекс физического объема промышленного производства превысит параметры Схемы на 20 процентных пунктов и составит в 2005 г. 143,5 – 145,3 % к уровню 2000 г.;

– в пределах параметров стратегии будет обеспечено привлечение инвестиций в экономику области, в 2005 г. с учетом российских и иностранных инвестиций это более 4 млрд. дол. США;

– оборот розничной торговли в 2005 г. более чем в 2 раза превысит уровень 2000 г., что выше параметров Схемы на 70 процентных пунктов;

– начисленная заработная плата в 2005 г. по отношению к 2000 г. увеличится в 3,6 – 3,7 раза, что на 43 – 58 процентных пунктов выше проектировок Схемы [57].

При разработке Схемы правительство области исходило из того, что человеческий потенциал, не столько его количество, сколько качество –

Таблица 15.1

Прогноз динамики ВРП Свердловской области до 2015 г. (в ценах 2000 г.)

Показатель	Отчет								Прогноз					
									2005		2010		2015	
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	I вариант	II вариант	I вариант	II вариант	I вариант	II вариант
Валовой региональный продукт, млрд. руб.	163	158	145	148	166	180	188	212	210	220	310	360	460	560
Темпы роста ВРП к 2000 г., %	98	95	87	89	100	108	112	127	128	134	188	216	280	339
Темпы роста ВРП за пятилетие, %	-	-	-	-	102	-	-	-	128	134	147	161	150	157
Среднегодовой темп прироста ВРП за пятилетие, %	-	-	-	-	0,5	-	-	-	5	6	8	10	8,5	9,5
Первичное топливо, тыс. т у.т.	35225	33185	32859	32454	36185	36004	36263	36495	41250	42335	52105	57172	68750	79608

квалификация, здоровье и культура, – является основополагающим фактором развития.

Выполненный демографический прогноз и баланс трудовых ресурсов показали, что при сохранении существующих тенденций естественного и миграционного движения населения численность жителей области за 15 лет может сократиться на 9 %, или более чем на 400 тыс. человек. Этого допустить нельзя.

Сегодняшнее положение дел в обществе требует коренного изменения социально-экономической политики всех уровней власти, поворот ее к нуждам людей. Приоритетами должны стать «инвестиции в человека». Только подъем экономики в конце концов приведет к росту ассигнований в социальную сферу.

Модернизация и техническое перевооружение производства позволят повысить производительность труда, сделают труд привлекательным. Тем самым будет решена обострившаяся проблема воспроизводства трудовых ресурсов и повышения качества кадрового потенциала.

Исходя из этого параллельно с разработкой Схемы в области разработана «Концепция сбережения населения Свердловской области». Главным в ее содержании являются принципы и механизмы создания благоприятных условий для роста численности, образовательного уровня, благосостояния, мобильности и активности населения.

Заложенные в Схеме существенное улучшение и оптимизация социальной инфраструктуры позволят обеспечить всеобщую доступность и высокое качество основных социальных благ – медицинского обслуживания, общего образования, пенсионного обеспечения, адресных форм социальной поддержки населения, улучшить медико-демографическую ситуацию в области. Это позволит стабилизировать численность населения области к 2015 г. и значительно улучшить качество его жизни.

15.2. Интегральный энергетический менеджмент региональной экономики

Развитие экономики региона невозможно без обеспечения его социально-экономического комплекса соответствующими энергоресурсами и организации их эффективного использования. Основным показателем энергетической эффективности любой экономической деятельности принята энергоемкость валового внутреннего продукта страны, региона и др. [58].

Во второй половине XX в. в большинстве стран стали устойчиво проявляться отрицательные обратные связи между энергетическими и экономическими показателями в соответствии с выражением [59]

$$dE_{\text{п}} / d\Pi < 0, \qquad (15.1)$$

где $E_{\text{п}}$ – энергоемкость ВВП (ВРП); П – величина валового внутреннего (регионального) продукта (ВВП, ВРП).

Проявляется это в снижении темпов роста энергоемкости ВВП, т.е. в данном случае вторую производную по П можно показать в виде выражения

$$(d^2 E_{\text{п}} \Pi) / d^2 \Pi < 0. \qquad (15.2)$$

Мировая статистика и исследования [10, 19, 59, 60] показали, что имеется тесная зависимость между расходом энергии и ВВП. Это позволяет на практике широко использовать параметр $dE_{\text{п}} / d\Pi$ для анализа показателей развития экономических систем.

Именно характерная тенденция для современных эффективных экономик, проявляющаяся в снижении темпов роста расхода энергии на единицу роста ВВП, позволила технико-экономический параметр $T_R = d\, E_{\text{п}}\, П / d\, \Pi$ в [59] назвать индексом «терморецессии» (динамической энергоемкости), где термин «термо» подчеркивает энергетическую приро-

ду процесса, а «рецессия» в экономике означает снижение темпов расхода (потребления) какого-то ресурса.

Размерность *T* следует выразить в процентах на 1 % прироста ВВП, % / %, или в килограммах условного топлива на рубль (дол. США) прироста ВВП (кг у.т./руб.) и т.п.

Целесообразность введения подобного технико-экономического параметра подтверждается «законом повышающейся энергоэффективности» [61] – *повышение уровня экономического развития сопровождается снижением энергоемкости ВВП* (рис. 15.2).

Выполненные по заказу Правительства Свердловской области исследования энергоемкости ВРП Свердловской области [19] позволяют внести определенную ясность в вопрос о роли энергоемкости регионального валового продукта при решении национальной задачи ближайших лет для России по удвоению ВВП. Вызвано это тем, что в Свердловской области вот уже на протяжении шести лет реализуется стратегия удвоения ВРП за период 2001 – 2010 гг. при одновременном повышении энергоэффективности промышленного производства [21].

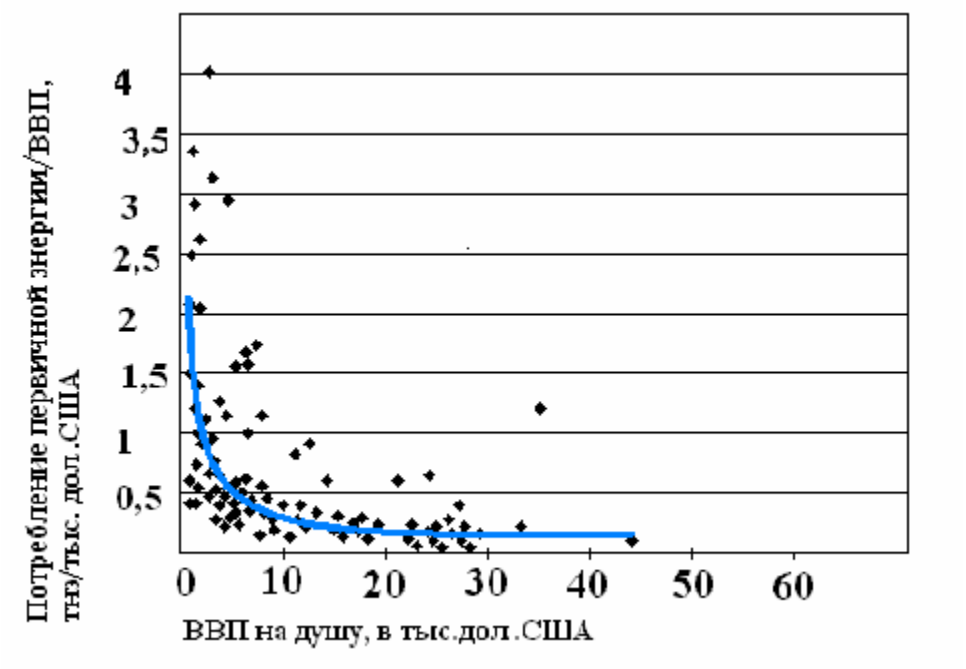


Рис. 15.2. Зависимость энергоемкости ВВП от уровня экономического развития (по курсу в ценах 1995 г.)

При расчетах энергоемкости ВРП в работе [19] был использован балансовый метод: топливно-энергетические балансы региона за 1996 – 2003 гг. рассчитывались по результатам обработки региональных статистических данных по первичному топливу; электроэнергии; тепловой энергии.

При этом к первичному топливу было отнесено все природное топливо, израсходованное (потребленное) на территории Свердловской области за соответствующий период (год) непосредственно в качестве топлива или энергии, переработанное в другие виды топлива, преобразованное в другие виды энергии, а также отпущенное населению.

Чтобы исключить по возможности двойной счет, принята следующая схема расчета объемов потребленных первичных топлив:

- все природное топливо;
- атомная энергия только в виде тепловой энергии, так как электрическая энергия с Белоярской АЭС практически вся поступает на ФОРЭМ (Федеральный оптовый рынок электроэнергии и мощности) и закупается предприятиями, расположенными за пределами области;
- продукты переработки природного топлива (кокс, полученный из-за пределов области, мазут и моторное топливо, топливо печное бытовое, нефтебитум, сжиженный газ, уголь древесный, брикеты торфяные).

При расчетах не учтен коэффициент эффективности переработки при производстве моторного топлива из природного (нефти), поскольку данные производства расположены за пределами нашего региона.

Результаты расчетов величины и динамики энергоемкости ВРП (в ценах 2000 г.) приведены в табл. 15.2.

При расчете ВРП в долларовом эквиваленте использованы данные не его официального курса, а паритета с рублем по покупательной способности (ППС) [57, 60].

Приведем сопоставление некоторых валовых и удельных показателей России и Свердловской области (табл. 15.3) с использованием данных работы [62].

Таблица 15.2

Данные расчетов величины и динамики потребления энергоресурсов на единицу ВРП Свердловской области за 1996 – 2003 гг.

Показатель	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.*	2002 г.*	2003 г.*
Потребление на единицу ВРП первичного топлива (энергоемкость ВРП), Всего, т у.т./1000 руб. т у.т./1000 дол. США	0,216 1,161	0,210 1,56	0,226 1,68	0,220 1,64	0,218 1,62	0,202 1,50	0,192 1,42	0,172 1,28
Темпы роста (снижения) к предыдущему году, %	–	97,2	107,6	97,3	99,1	92,7	96,0	89,6
Потребление на единицу ВРП электроэнергии (электроемкость ВРП), кВт·ч/1000 руб.	232,7	235,5	255,0	259,3	246,9	233,2	221,5	201,6
Темпы роста (снижения) к предыдущему году, %	–	101,2	108,3	101,7	95,2	94,4	95,0	91,0
Потребление на единицу ВРП тепловой энергии (теплоемкость ВРП), Гкал/1000 руб.	0,480	0,471	0,503	0,491	0,445	0,400	0,383	0,340
Темпы роста (снижения) к предыдущему году, %	–	98,1	106,8	97,6	90,6	92,1	95,7	88,8

* В ценах 2000 г.

Таблица 15.3

Валовые и удельные показатели России и Свердловской области

Показатель	Россия (2000 г.)	Свердловская область	
		2000 г.	2003 г.
Население (среднегодовая численность), млн. чел.	145,2	4,5877	4,4663
То же, %	100	3,16	3,1
ВВП* (ВРП) (в ценах 2000 г.), млрд. руб.	6277,8	166	212
То же (ППС =7,44 руб./дол.), млрд. дол.	843,8	22,3	28,5
То же, %	100	2,65	3,38
ВВП* (ВРП) на душу населения, тыс. руб./чел.	43,2	36,2	47,5
То же, тыс. дол./чел.	5,8	4,9	6,3
То же, %	100	84,4	108,6
Потребление энергоносителей:			
первичного топлива, млн. т у.т.	980	36,185	36,005
то же, %	100	3,69	3,72
электроэнергии, млрд. кВт·ч	850 [60]	40,934	42,739
то же, %	100	4,8	5,03
тепловой энергии, млн. Гкал	2020 [60]	73,742	72,08
то же, %	100	3,65	3,57
Энергопотребление на единицу ВВП (ВРП):			
первичного топлива, т у.т./1000 дол.	1,16	1,62	1,28
то же,	100	140	110
электроэнергии, кВт·ч/дол.	1,01	1,83	1,45
то же, %	100	181	144
тепловой энергии, Гкал/1000 дол.	2,39	3,31	2,56
то же, %	100	138	107

* Сумма валовой добавленной стоимости субъектов РФ.

Согласно данным табл. 15.3, в Свердловской области несколько выше показатели энергоемкости по сравнению с РФ, практически одинаковые показатели по теплоемкости и заметное превышение по электроемкости. В связи с этим сопоставим показатели основных отраслей промышленности России в суммарном объеме производства и их относительную удельную энергоемкость [63] с аналогичными показателями по Свердловской области, (табл. 15.4).

Таблица 15.4

Показатели основных отраслей промышленности и их относительная удельная энергоемкость

Отрасль промышленности	Доля в производстве, %		Относительная электроемкость, %	Относительная энергоемкость, %
	Россия (2002 г.)	Свердловская область (2000 г.)		
Промышленность, всего	100	100	100	100
В том числе:				
Энергоемкие отрасли, всего	27,17	65	–	–
Электроэнергетика	8,44	10,5	85	404
Черная металлургия	8,42	25,0	223	203
Цветная металлургия	10,31	29,5	342	112

По предварительным данным за 2004 г., доля металлургии в Свердловской области составляет около 55 % (2000 г. – 54,5 %), т.е. региональная металлургия сохраняет свои позиции в структуре промышленного производства. Следовательно, в Свердловской области доля объемов производства наиболее энергоемких отраслей в 2,4 раза выше, чем в России (см. табл. 15.4), при этом общий показатель энергоемкости был в 2000 г. выше, чем в России только на 40 % (см. табл. 15.3), при снижении к 2003 г. еще на 30 %.

Не менее принципиальной особенностью промышленного производства Свердловской области является ничтожная доля топливной составляющей ТЭКа – 0,3 %. Аналогичный показатель в России более 21 % [63].

Поэтому для Свердловской области актуально обеспечение развития экономики по второму варианту сценария (см. табл. 15.1), предполагающему ускоренное развитие экономики региона в направлении увеличения инновационности промышленного развития. Другими словами, при расчетах энергоемкости валового регионального продукта за основу был принят второй (оптимистический) вариант сценария экономического развития [57].

Основные этапы расчета энергоемкости ВРП следующие:

1. Расчет топливно-энергетического баланса.

Выполняется на базе данных официальной государственной статистической отчетности за базовый год (при необходимости – за предшествующий период) в следующей последовательности:

- определение остатков топлива на начало года;
- определение объемов производства на территории области топлива, электроэнергии, теплоэнергии (ТЭР);
- определение объемов поступления ТЭР из других регионов;
- определение объемов расхода (потребления) ТЭР на территории области;
- определение объемов вывоза ТЭР за пределы территории области;
- определение остатков ТЭР на конец года;
- перевод ТЭР из натуральных единиц в условное топливо (по соответствующим коэффициентам).

2. Расчет энергоемкости ВРП в базовом году (и при необходимости в предшествующем периоде), т у.т./1000 руб. (дол. США):

$$E_{\text{п}} = T_{\text{п.баз}}/\text{ВРП}, \qquad (15.3)$$

где $T_{\text{п.баз}}$ – объем первичных топливно-энергетических ресурсов (ПТЭР), потребленных на территории области в отчетном (базовом) году, определяется из топливно-энергетического баланса; ВРП – объем валового регионального продукта (по данным органов госстатистики).

3. Расчет соотношения между темпом прироста потребления ПТЭР и темпом прироста ВРП в базовом году (при необходимости – в предшествующем периоде):

$$T_R = \Delta T_{\text{п.баз}} / \Delta(\text{ВРП}), \qquad (15.4)$$

где $\Delta T_{\text{п.баз}}$ – прирост потребления ПТЭР в базовом году, %; Δ(ВРП) – прирост валового регионального продукта в базовом году, %.

4. Анализ объемов и динамики изменений энергоемкости ВРП и соотношения темпов прироста ПТЭР и ВРП и сопоставление с аналогичными данными по Российской Федерации и зарубежным странам.

5. Расчет прогнозных объемов потребления ПТЭР:

- задается соотношение (варианты) между темпами прироста потребления ПТЭР и ВРП (T_R), с учетом сложившихся пропорций как в Свердловской области, России, так и в других странах;
- рассчитываются (по вариантам) темпы прироста ПТЭР в прогнозном периоде:

$$\Delta T_{\text{п}} = \Delta(\text{ВРП}) \cdot T_R; \qquad (15.5)$$

- рассчитываются (по вариантам) прогнозные объемы потребления ПТЭР:

$$T_{\text{п}} = (\Delta T_{\text{п}}) \cdot T_{\text{п.баз}}. \qquad (15.6)$$

6. Расчет прогнозных объемов и темпов роста ВРП в прогнозируемом периоде.

7. Расчет прогнозной энергоемкости ВРП:

$$E'_{\text{п}} = T_{\text{п}} / \text{ВРП}. \qquad (15.7)$$

8. Определение структуры топливного баланса области в прогнозируемом периоде и расчет потребности по видам топлива.

9. Прогнозирование развития промышленных отраслей.

Результаты расчетов энергоемкости ВРП приведены на рис. 15.3 – 15.5.

На рис. 15.3 показана динамика потребления ТЭР на единицу ВРП Свердловской области за 1996 – 2001 гг. Столь благоприятная динамика

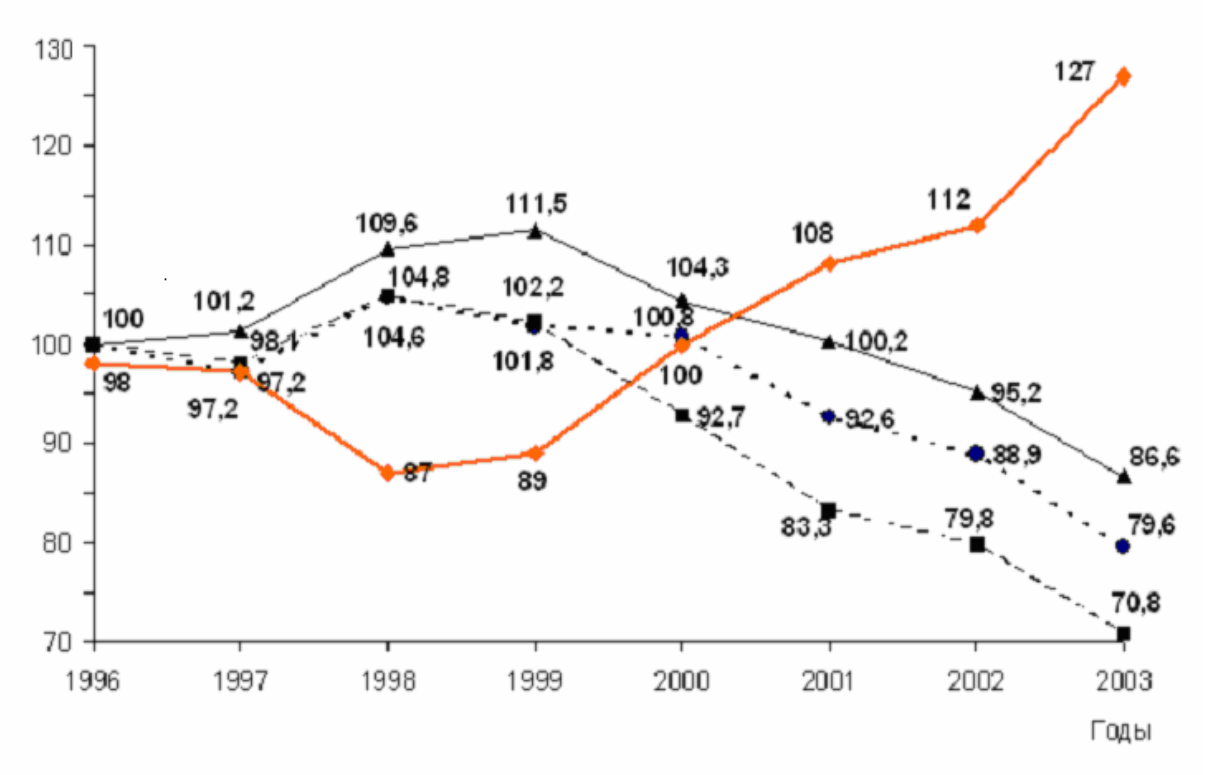


Рис. 15.3. Динамика потребления топливно-энергетических ресурсов на единицу ВРП Свердловской области за 1996 – 2003 гг. (в % к 1996 г.):

энергоемкость ВРП; теплоемкость ВРП; электроемкость ВРП; ВРП

обеспечена за счет целенаправленной работы в соответствии с областной программой «Семь шагов к теплу и свету» [21]. Прирост потребления топлива на 1 % прироста ВРП в 2001 г. составил 0,45 %. Но уже за период 2000 – 2003 гг. суммарный индекс терморецессии составил 0,03 % на 1 % прироста ВРП. Следовательно, практически весь прирост ВРП достигнут при сохранении объемов потребления энергоресурсов в виде первичного топлива. Исходя из показателей топливно-энергетического баланса и ВРП

составлен прогноз динамики снижения энергоемкости ВРП Свердловской области на период до 2015 г. (в процентах к 2000 г.) в увязке с параметрами «Схемы развития и размещения производительных сил Свердловской области» (рис. 15.4).

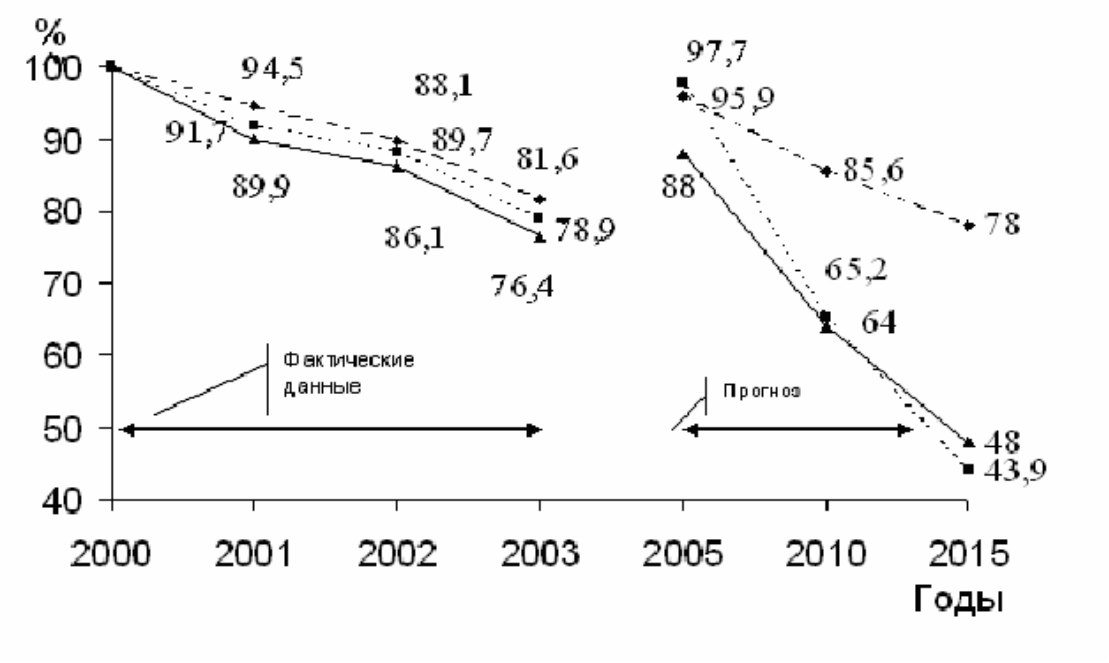
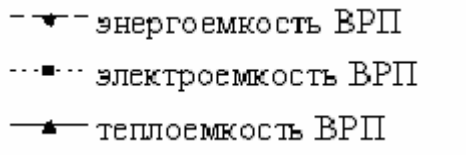


Рис. 15.4. Прогноз динамики потребления топливно-энергетических ресурсов на единицу ВРП Свердловской области до 2015 г.:



Согласно данным, приведенным на рис. 15.5, параметры прироста потребления топлива на 1 % прироста ВРП приняты в двух вариантах – 0,4 и 0,5 % [64]. Исходя из достигнутых в Свердловской области показателей за 1999 – 2001 гг. (рис. 15.6) выполнены расчеты укрупненной структуры баланса ТЭР в 2015 г. для двух вариантов – 0,5 и 0,4 % прироста расхода энергии на 1 % ВРП. Объемы потребления природного газа приняты исходя из существующей на данный период монопольной схемы газоснабжения региона и пропускной способности существующих магистральных трасс газопроводов.

Из расчетов следует, что в случае сохранения сложившейся тенденции на ограничение внутреннего потребления природного газа в Свердлов-

ской области необходимо будет увеличивать примерно втрое объемы ввоза твердого топлива. При этом существующие объемы экспорта экибастузского угля из Казахстана считаются предельно возможными по пропускной способности транспортной магистрали. Кроме того, по показателям экологической вредности экибастузского угля дальнейший рост объемов его поставки требует подробного обоснования [65].

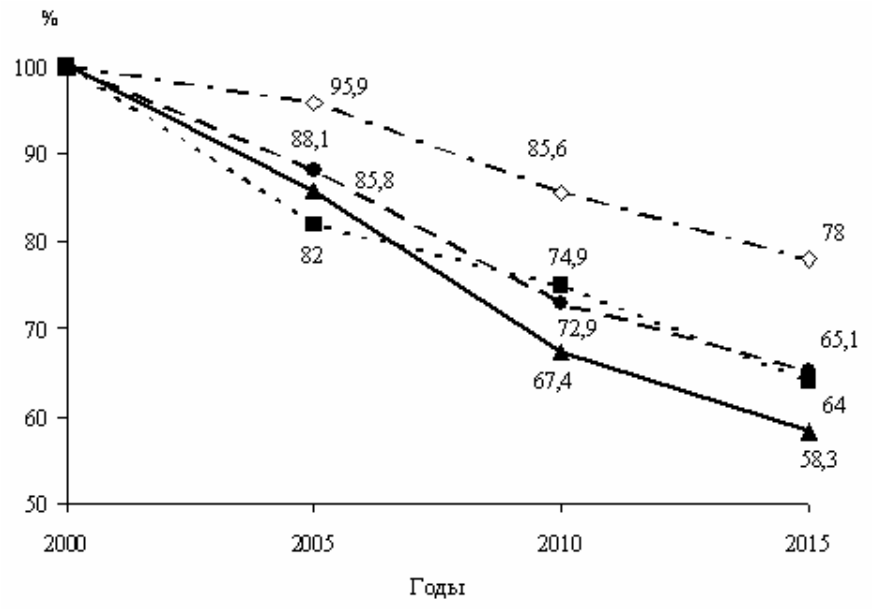
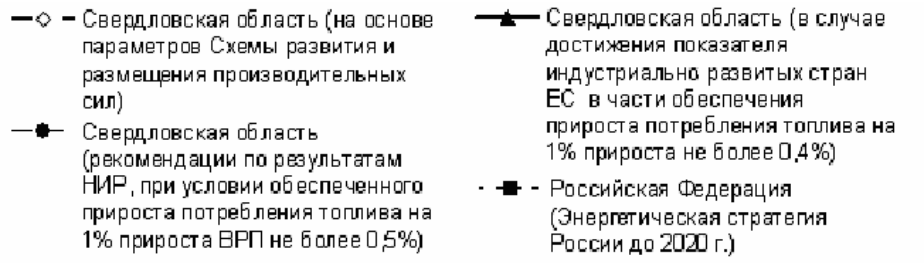


Рис. 15.5. Прогноз динамики снижения энергоемкости ВВП (ВРП) Российской Федерации и Свердловской области в период до 2015 г.:



Кроме того, принятые в «Энергетической стратегии России на период до 2020 г.» соотношения по потреблению природного газа и твердого топлива применительно к энергодефицитным регионам с высоким производственным потенциалом и с учетом их участия в решении стратегической задачи по удвоению ВВП страны требуют, на наш взгляд, соответствующей обоснованной их корректировки в рамках региональной энергетической стратегии.

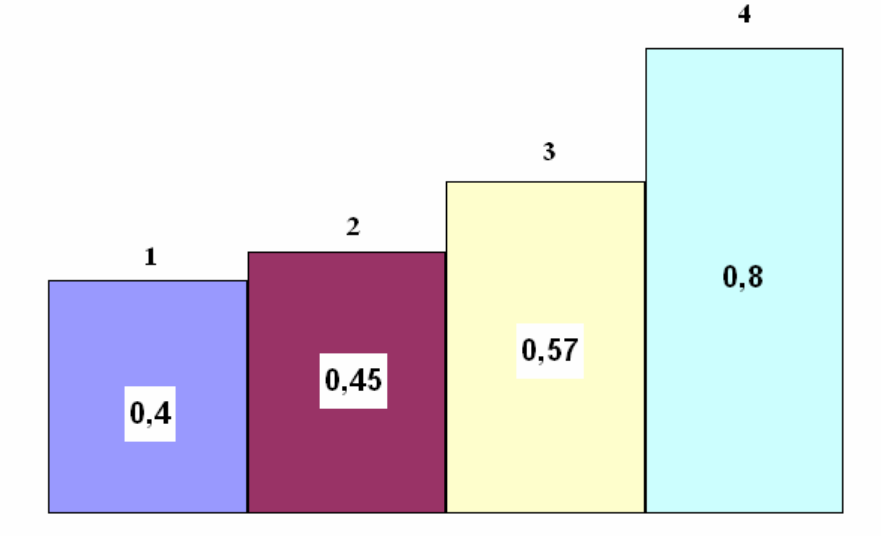


Рис. 15.6. Соотношение между темпами прироста потребления первичного топлива и темпами прироста ВВП (ВРП) за 1999 – 2001 гг. и 2015 г. (% прироста потребления первичного топлива на 1 % прироста ВВП (ВРП)):
1 – промышленно развитые страны Европы; 2 – Свердловская область; 3 – Российская Федерация; 4 – Свердловская область (инерционный вариант)

По результатам анализа региональной экономики можно сделать следующие выводы:

- реализация стратегической задачи России – удвоение ВВП – во многом определяется реализацией энергетической стратегии в регионах, где нефть и газ не добываются, а рационально используются наряду с другими первичными и преобразованными энергоносителями (электрическая и тепловая энергия);
- стратегическую задачу по удвоению ВВП России вряд ли удастся решить без развития межрегиональных энергетических связей, хотя бы в рамках федеральных округов. В Уральском регионе такие тесные связи остро необходимы между Тюменской, Свердловской и Челябинской областями, где доминируют энергоемкие отрасли экономики.

Контрольные вопросы

1. Сколько этапов и какие задачи заложены в «Схеме развития региона», каковы их характерные особенности?
2. Какие параметры основных макроэкономических показателей предусмотрены в Схеме?
3. Как оценивается результативность реализации первого этапа Схемы?
4. Что такое валовой региональный продукт и его энергоемкость?
5. Каков характер зависимости между энергоемкостью валового продукта и уровнем экономического развития?

16. Методические рекомендации по изучению вопросов энергосбережения

16.1. Энергосбережение в повседневной жизни

Мы проводим большую часть своего времени в различных зданиях – домах, школах, офисах и магазинах, но, как правило, не задумываемся над тем, как они спроектированы, построены и как обслуживаются. Между тем именно эти факторы имеют прямое отношение к удобству обитания в этих зданиях и стоимости проживания в них.

Энергоэффективное здание намного комфортнее, требует меньше топлива для отопления зимой и меньше электричества для охлаждения летом, чем здание, расходующее энергию впустую. Плохо спроектированное и эксплуатируемое здание выбрасывает на ветер и ваши деньги. Почему? Потому, что оно подогревает и кондиционирует окружающую среду наравне с внутренними помещениями дома. Поэтому на примере изучения вопросов энергосбережения в зданиях и помещениях покажем некоторые методические приемы при подготовке и проведении учебных занятий.

Цель занятия – научить распознавать основные строительные, обслуживающие и конструкторские элементы, которые делают здание энергоэффективным; объяснить специальные термины, научить пользоваться ими; научить объяснять окружающим необходимость энергосбережения и способы его организации.

Требуемые навыки и знания – способность делать наблюдения и описывать их.

Словарный лист

Тепловые «грабители»

Излучение: прохождение энергии сквозь открытое пространство, например, солнечной. В течение светового дня здание поглощает солнечное

излучение, но после захода солнца оно начинает излучать тепло наружу до тех пор, пока обратное излучение не будет заблокировано.

Проводимость: прохождение тепла сквозь материал. Некоторые материалы, такие, как стекло и металл, проводят тепло (и теряют его) с большой легкостью. Изоляция помогает предотвратить проводимость тепла. Если потолок и стены плохо изолированы, они проводят тепло из дома в окружающую среду.

Конвекция: перенос тепла вместе с движением воздуха. Когда нагретый воздух соприкасается с прохладными поверхностями, например окнами, он теряет тепло. Охлажденный воздух плотнее теплого, поэтому он оседает, выталкивая теплый воздух по направлению к потолку. Теплый, более легкий воздух на уровне потолка охлаждается вместе с окнами и оседает. Двигаясь вдоль пола, он снова нагревается, перемещается к противоположной стене (прочь от окна), далее к потолку и снова оседает на уровне окна. В каждом таком цикле воздух теряет тепло, которое должно быть получено от солнечного окна, камина, сушилки и прочих нагревательных устройств для поддержки температуры комфорта.

Конденсация: капли влаги, которые образуются на поверхности при охлаждении теплого влажного воздуха. Конденсация влаги из комнатного воздуха (душевая, жилые комнаты, кухни) проявляется больше всего в прохладных зонах. Влажные или замерзшие окна служат напоминанием о потерянном тепле. Средство борьбы – двойные или тройные стеклопакеты, массивные занавески, изолирующие экраны или заслонки.

Инфильтрация: утечка воздуха по причине ветра. Давление воздуха втягивает холодный воздух сквозь крошечные отверстия на подветренной стороне и выталкивает нагретый воздух с обратной стороны дома. Утечки случаются сквозь трещины в древесной плите, щели в отделке, прорези для трубопровода и проводов, некачественные замки оконных проемов, испорченные погодой двери и выходы.

Энергохранители

Изоляция: материалы с большим сопротивлением (*R*-фактор) передаче тепла. Некоторые наиболее более часто используемые дома материалы: стекловолокно, целлюлоза, минеральная шерсть и пенопласт. Сопротивление передаче тепла обеспечивается наличием большого количества незанятого пространства между волокнами или частицами. Изоляция выполняется в различных вариантах: покрытие, пена, щиты и т.д.

R-фактор: приведенное сопротивление теплопередаче, $м^2 \cdot °C/Вт$ (в зарубежной практике в размерности нередко используется не метр, а дюйм). Чем выше это значение, тем эффективнее изоляция данным материалом. Обычно указывается на единицу толщины слоя строительного материала. Значения *R*-факторов могут складываться – более толстый материал или комбинация различных материалов увеличивают тепловую сопротивляемость.

Для энергоэффективного жилого дома допустимыми значениями R-фактора являются отечественные нормативы, $м^2 \cdot °C/Вт$: при коэффициенте суровости климата 6000 градусо-суток: потолок – 5,5; внешняя стена – 3,5; пол – 4,6; окна, витражи, светопрозрачные конструкции балконных дверей – 0,54; глухая часть балконных дверей – 0,81; входные двери в квартиры, расположенные выше первого этажа – 0,54; входные двери в здания одноэтажные и квартиры, расположенные на первом этаже, – 2,2.

Пароизоляция: водостойкая подкладка, препятствующая прохождению влаги сквозь структуру здания. Пароизоляцию на стенах и потолках следует располагать на нагреваемой (внутренней) поверхности здания. Некоторые изоляционные материалы поставляются сразу с пароизоляцией.

Средства для окон: средства, применяемые к внутренней части окна (заслонки, щиты, жалюзи, драпировки), используемые для сохранения тепла внутри и снаружи.

Глушитель: люк или любое другое устройство, которое регулирует движение воздуха сквозь проток, дымоход или кирпичную трубу.

Поточное сопротивление (распылитель): устройство, установленное на водяной кран или душ для уменьшения потока воды во время регулировки напора струи. Сберегает энергию, уменьшая количество потребленной горячей воды.

Часовой термостат: термостат, оборудованный таймером для автоматического изменения уровня нагрева в определенные периоды дня.

Навес: цельный горизонтальный или расположенный под углом экран над внешним периметром здания. Устанавливается так, чтобы летом на южные окна подала тень, когда солнце высоко в небе. Это помогает сэкономить на кондиционировании (чтобы примерно определить размер навеса, добавьте ширину окна к расстоянию от верха окна до навеса и поделите его на 2).

Ветролом: плотный ряд деревьев, забор или прочий барьер, который прерывает и изменяет естественный путь ветра. Ветроломы располагаются на северной и западной сторонах здания и помогают сохранить тепло, уменьшая проникновение холодного воздуха.

Воздушная пробка: система двойной двери, которая сохраняет энергию, уменьшая обмен воздуха.

Уплотнители: мягкие, полужесткие материалы, которые можно внедрить в возможные узлы и щели здания, уменьшая фильтрацию воздуха.

Прокладки: материалы, которые уменьшают проникновение воздуха в щели вокруг дверей и окон. Устанавливаются для формирования «замка» в закрытом состоянии.

ЗАНЯТИЕ 1. Заполнение опросного листа по исследуемому зданию (внутреннему пространству)[*].

[*] Вопросы подготовлены с учетом современных требований и материалов.

Данные по домашнему энергоаудиту

Название и расположение осматриваемого здания _____

_____

Вопрос	Да	Нет	Комментарии
1. Изолированы ли потолки? (Подробности выясните в эксплуатирующей организации.)			
2. Какова толщина изоляции? (Результаты занесите в последнюю колонку.)			
3. Существует ли пароизоляция (пластик, алюминий) на внешней стороне изоляции?			
4. Если у здания имеется неотапливаемое основание, имеется ли изоляция пола?			
5. Если подвал отапливается, изолированы ли его стены?			
6. Каков процент покрытия пола ковриками, настилками и прочими изделиями?			
7. Перегорожено ли обогревательное оборудование различной мебелью, занавесками и т.д.?			
8. Достаточно ли светлы обои для того, чтобы отражать свет?			
9. Установлены ли прокладки на окнах?			
10. Если в здании присутствует камин, снабжен ли он глушителем и стеклянной дверцей?			
11. Перекрывается ли дымоход, когда камин не используется?			
12. Закрыты ли стеклянные дверцы при использовании камина, чтобы удержать теплый воздух от утечки через трубу?			
13. Двигается ли детектор утечек (лист тонкой бумаги), когда поднесен к дверям и окнам в спокойные и ветреные дни?			
14. Показывает ли детектор утечек потоки воздуха через розетки на внешних стенах в ветреные дни?			
15. Проверьте остальные отверстия на предмет утечек и составьте список обнаруженных утечек.			
16. Не протекает ли кран горячей воды?			
17. Имеются ли регуляторы потока на трубах, соединенных с душем?			
18. Имеется ли часовой термостат, автоматически понижающий температуру в ночное время?			
19. Проверьте погреб на предмет присутствия горячей воды или отопительные трубы. Изолированы ли они?			
20. Проверьте погреб или чердак на предмет труб, несущих нагретый воздух. Обернуты ли они изоляцией?			
21. Проверьте отопительные радиаторы, не забиты ли они пылью?			
22. Отсоединен ли выхлопной шланг сушилки от своего отверстия для поддержания влажного тепло-			

Вопрос	Да	Нет	Комментарии
го воздуха в доме?			
23. Была ли домовая печь очищена и обслужена за последний год?			
24. Обеспечивается ли меньшее остекление на северной части здания?			
25. Определите примерную площадь окон. Она должна составлять приблизительно 18 – 20 % от суммарной площади стен.			
26. Выходит ли карниз крыши дома на южной стороне достаточно, чтобы препятствовать летнему солнцу попадать на стены и окна?			
27. Не перекрывает ли карниз крыши низкое зимнее солнце?			
28. На месте ли штормовые окна и надежно ли они закрыты? (Если большее количество влаги конденсируется на окнах и замерзает в холодные дни, то штормовые окна не функционируют должным образом.)			
29. В случае отсутствия штормовых окон установлены ли временные (пластиковые) заслонки? (Они должны создавать воздушное пространство толщиной около 3/4 дюйма между внутренним и внешним застеклением.)			
30. Посажены ли вечнозеленые растения с северной и западной сторон здания?			
31. Посажены ли лиственные растения с южной стороны дома для летней прохлады и зимнего солнца?			
32. Тает ли снег на крыше Вашего дома быстрее, чем у соседей? (Свидетельство необходимости улучшения изоляции потолка.)			
33. Видите ли Вы места для утечки воздуха между домом и его фундаментом, сломанные окна, гнилые доски или другие возможные источники проникновения холодного воздуха в дом?			
34. Изолированы ли двери подвала и плотно ли они закрыты?			
35. Открываются ли чердачные проемы зимой и летом? (Они должны открываться. Изоляция потолка должна согревать дом, а не заколоченный чердак.)			
36. Заделаны ли пространства вокруг окон, дверей, труб и электрической проводки?			
37. Существует ли утепление внутренних и внешних дверей?			
38. Заделаны ли пробоины и отверстия в стенах и фундаменте?			
39. Существует ли в доме система двойных дверей на каждом из выходов?			

После заполнения опросных листов обсудите с учащимися полученные результаты, с целью определения мест потерь энергии при отоплении здания.

ЗАНЯТИЕ 2

ПРАКТИКУМ – 1. Задачи

1. Нормы освещения составляют 25 – 30 Вт/м^2 общей площади. Сколько электроэнергии можно сэкономить за месяц, устроив местное освещение рабочего стола при условии ежедневной работы лампочки в течение 5 часов? Площадь комнаты 16 м^2.

Решение

По нормам освещения определяем мощность лампочек:

P = 25 – 30 Вт/м^2 · 16 м^2 = 400 – 480 Вт. Для освещения стола площадью 2 м^2 достаточно 50 – 60 Вт. Следовательно, за 5 часов горения ежедневно экономится [(400 – 480) Вт – (50 – 60) Вт] · 5 ч = 1,75 – 2,1 кВт·ч электроэнергии, что за 30 дней месяца составит от 52,5 до 63 кВт·ч.

При тарифе за электроэнергию 1 руб./кВт·ч эта энергия стоит от 52,5 до 63 руб. На такую сумму бюджет вашей семьи увеличится.

2. Насколько энергетически выгоднее кипятить две чашки чая, чем полный чайник, который затем остывает?

Решение

Количество теплоты необходимое для нагревания данного тела, пропорционально его массе и изменению температуры: $Q = c\ m\ \Delta t$, где Q – количество теплоты; c – удельная теплоемкость вещества; m – масса тела; Δt – изменение температуры, происходящее в результате подвода к нему количества теплоты Q.

Следовательно, затраты энергии пропорциональны массе нагреваемой воды. Если чайник имеет емкость 1,5 л, то на две чашки воды по 0,2 л энергии расходуется в 3,75 раза меньше, чем на полный чайник.

3. На сколько снижается эффективность электроконфорки, если площадь соприкосновения ее с посудой составляет лишь 30 % полной площади?

Решение

Тепловое сопротивление (К/Вт) определяется как $R_T = \frac{l}{\lambda A}$, где l – длина проводника тепла, м; λ – коэффициент теплопроводности материала проводника (Вт/м · К); A – поперечное сечение проводника тепла.

Тепловой поток, Вт, $\Phi = \frac{\Delta T}{R_T}$, где ΔT – разность температур на концах проводника тепла, К.

Таким образом, если площадь соприкосновения двух контактирующих тел составляет лишь 30 % их максимальной площади, то тепловое сопротивление увеличивается R_T / 0,3 и тепловой поток составит только 30 % от максимально возможного.

4. Что энергетически выгоднее – принять душ или ванну – при условии одинаковой длительности процедуры (5 минут) и одинаковой температуре воды?

Решение

Емкость ванны составляет 200 л. Критерием выгодности будет количество израсходованной воды. Для ванны это 200 л.

Объем жидкости, израсходованной для душа, м^3:

$$V = Aw\tau,$$

где V – объем жидкости, м^3; A – площадь сечения трубы равная 0,785 d^2, м^2; где d – диаметр трубы, м; w – скорость течения жидкости, м/с; τ – время, за которое протекает данный объем, с.

Скорость истечения жидкости может быть определена, м/с:

$w = \sqrt{2gh}$, где g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

h – высота столба жидкости, например, h = 10 м.

При напоре 10 м и диаметре сечения трубы душа 0,005 м, расход воды за 5 минут составит $V = 0{,}785 \cdot 0{,}005 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 10} \cdot 5 \cdot 60 = 0{,}082$ м^3.

Следовательно, душ энергетически выгоднее в 2,5 раза.

5. В двигателе внутреннего сгорания на каждые 4 л бензина образуется примерно 2 л оксидов азота. Сколько оксидов азота выбрасывается в атмосферу города, если ежегодно каждый автомобиль пробегает 40 тыс. км при среднем расходе 15 л на 100 км? В городе зарегистрировано 10 тыс. автомобилей.

Решение

Каждый автомобиль в год расходует $\frac{40000}{100} \cdot 15 = 6000$ литров бензина. При этом выделяется $\frac{6000}{4} \cdot 2 = 3000$ литров оксидов азота.

6. Докажите, что осветительные приборы, установленные в подъездах и на лестничных клетках жилых домов, – это значительный резерв экономии электрической энергии.

Решение

Сделаем примерный расчет. Предположим, что на лестничной клетке, где вы живете, горит электрическая лампа накаливания мощностью 40 Вт. В некоторых домах лампа горит круглые сутки! Энергия, которую потребляет эта лампа в сутки, составляет 0,04 кВт · 24 ч = 0,96 кВт·ч/сут. Если это дом девятиэтажный, то потребленная энергия в каждом подъезде составит 0,96 кВт·ч · 9 = 8,64 кВт·ч/сут. Для шестиподъездного дома это будет 8,64 кВт·ч · 6 = 51,84 кВт·ч/сут.

В год девятиэтажный шестиподъездный дом потребляет энергии на освещение подъездов 51,84 кВт·ч · 365 дней = 18921,6 кВт·ч/год = = 19 МВт·ч/год.

Стоимость потребленной энергии при тарифе 1 руб. / кВт·ч составляет 19000 руб./год.

ПРАКТИКУМ – 2. Измерение энергии дома

Предлагается в течение недели списывать, например в доме или в квартире, показания счетчика электрической энергии с занесением их в таблицу.

Запись использованной за последние 24 часа энергии

	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
кВт·ч 20							
19							
18							
17							
16							
15							
14							
13							
12							
11							
10							
9							
8							
7							
6							
5							
4							
3							
2							
1							
0							

Затем предлагается провести простейшие энергосберегающие мероприятия по снижению расходов электроэнергии в доме (квартире) и вновь провести запись показаний счетчика электроэнергии. Сравните полученные результаты и сделайте выводы.

ЗАНЯТИЕ 3

ПРАКТИКУМ – 3. Составление «Энергетического паспорта»

Предлагается составить «энергетический паспорт» квартиры или дома. Для этого необходимо заполнить (подчеркнуть пункты) табл. 16.1 – 16.3.

Для заполнения таблиц рекомендуется обратиться за помощью к семейному совету.

Таблица 16.1

Виды и источники энергии

Вид энергии	Источник
Тепловая энергия (для отопления)	Центральное отопление, собственный источник тепловой энергии (газовый котел, печь, собственная котельная)
Тепловая энергия (для приготовления пищи)	Электрические плиты, газовые плиты
Электрическая	Электрическая сеть, другой источник

Мощность прибора указана в его паспорте или на самом приборе (например, на электрической лампочке). Израсходованная энергия рассчитывается так:

Энергия = мощность · время работы

Таблица 16.2

Характеристики электропотребителей

Электропотребители	Количество, шт.	Суммарная мощность, кВт	Время работы за сутки, ч	Электроэнергия, израсходованная за сутки, кВт·ч
Электрические лампы				
Холодильники				
Электрические печи				
Стиральные машины				
Телевизоры				
Магнитофоны				
Компьютеры				
Электрические чайники				
Утюги				
Другое оборудование				
Суммарное потребление электрической энергии за сутки				

Используя данные табл. 16.3, следует определить, сколько угля, нефти, газа нужно сжечь для получения израсходованной за сутки электрической энергии и сколько углекислого газа выделится при этом.

Таблица 16.3

Характеристики энергоносителей

Вид топлива	Удельная теплота сгорания, кВт·ч / кг	Удельное количество образующегося углекислого газа, $м^3$ / кг
Уголь	8,1	1, 7
Нефть	12,8	1,5
Природный газ	11,4 кВт·ч / $м^3$	1,2 $м^3$ / $м^3$

При определении массы израсходованного топлива и объема выделившегося при этом углекислого газа используйте следующие выражения:

Для нефти и угля –

$$(Масса\quad топлива) = \frac{Энергия}{(Удельная\quad теплота\quad сгорания)};$$

$$(Объем\quad углекислого\quad газа) = (Масса\quad топлива) \times \begin{pmatrix} Удельное & количество \\ углекислого & газа \end{pmatrix}.$$

Для природного газа –

$$(Объем\quad топлива) = \frac{Энергия}{(Удельная\quad теплота\quad сгорания)};$$

$$(Объем\quad углекислого\quad газа) = (Объем\quad топлива) \times \begin{pmatrix} Удельное & количество \\ углекислого & газа \end{pmatrix}.$$

ПРАКТИКУМ - 4. Измерение расхода воды и расчет энергии, необходимой для ее нагрева

Уровень потребления воды по российским нормам очень высок по сравнению с другими странами.

Строительной нормой при планировании системы подачи горячей воды в квартиру является уровень потребления 7,5 л/$м^2$ воды, имеющей температуру 55 °С. Предполагается, что половина воды идет на кухню, а другая – в ванную комнату.

Измерение расхода воды

Вопрос	Душ	Кран 1	Кран 2
Сколько секунд понадобится для того, чтобы набрать 10 л воды при нормальном использовании?			
Пример: Потребовалось 40 с, чтобы набрать 10 л воды 40 с : 60 = 0,66 мин 10 л / 0,66 мин = 15,15 л/мин			
Сколько минут в неделю вы используете кран?			
Сколько литров воды вы используете в течение недели?			
Температура воды до нагревания, °С (Измерьте температуру холодной воды.)			
Температура используемой горячей воды, °С			

Пример. Кран 1 в течение суток был открыт 15 мин. В этом случае примерный расход воды через него составил: 15,15 л/мин · 15 мин = 227,25 л.

Подсчитайте расход горячей воды и результаты после введения мер (оборудование, изменение привычек) по экономии воды:

Предполагаемое потребление горячей воды до введения мер по экономии, л/сут	Высчитайте предполагаемое обычное потребление воды в вашей семье. После обсуждения мер по сбережению постарайтесь выполнять некоторые из них и подсчитайте результаты экономии.
Предполагаемое потребление горячей воды после введения мер по экономии, л/сут	
Количество сбереженной воды, л/сут	
То же самое, л/мес	

Подсчитайте возможную экономию энергии.

Пример. В результате установки аэрирующей насадки на кран в кухне расход воды снизился на 1000 л/мес (1 $м^3$/мес).

В квартире установлены счетчики горячей и холодной воды. Тариф (цена) воды составляет: горячей – 20 руб./$м^3$, холодной – 5 руб./$м^3$. Примем расходы горячей и холодной воды равными. В этом случае снижение денежных расходов составит 0,5·20 + 0,5·5 = 12,5 руб./мес, или 150 руб. /год.

Ответьте на вопросы анкеты и проверьте, умеете ли вы беречь энергию.

Вопрос	Да	Нет	Сложите все ответы *Да.* *Если у Вас получилось* *от 1 до 5 ответов Да –* *Вам еще многому надо научиться, так что начните прямо сейчас;* *от 6 до 10 ответов Да –* *у Вас много хороших привычек, которые могут служить основой для дальнейшей работы над собой;* *от 11 до 15 ответов Да –* *Вы являетесь хорошим примером всем остальным;* *от 16 до 20 ответов Да –* *Ваш опыт надо максимально использовать другим.*
♦ Вы записываете Ваше энергопотребление?			
♦ Вы включаете свет в комнате, когда уходите из нее?			
♦ Стиральная машина всегда полностью заполнена, когда Вы используете ее?			
♦ Холодильник стоит в прохладной комнате?			
♦ Вы не ставите мебель перед обогревателями?			
♦ Вы начали использовать энергосберегающие лампочки?			
♦ Вы используете местное освещение (настольную лампу, бра, торшер)?			
♦ Вы проветриваете помещение быстро и эффективно, всего несколько минут за раз?			
♦ Вы заклеиваете окна на зиму?			
♦ Вы зашториваете окна на ночь?			
♦ Вы кладете крышку на кастрюлю, когда варите?			
♦ Вы часто размораживаете холодильник?			
♦ Вы используете раковину для мытья посуды?			
♦ Вы моетесь под душем, а не принимаете ванну?			
♦ Вы ходите пешком или ездите на велосипеде в школу и на работу?			
♦ Вы снижаете температуру в помещении, когда выходите			
♦ Вы снижаете температуру в помещении ночью?			
♦ Вы повторно используете стекло, бумагу и металл?			
♦ Вы не покупаете товары, которые могут использоваться только один раз?			
♦ Вы не покупаете товары в больших обертках?			
♦ Вы чините вещи, вместо того чтобы заменить их?			

16.2. Индикаторы эффективности энергосберегающей деятельности

Одним из наиболее существенных вопросов, возникающих при проведении энергосберегающих мероприятий, является оценка их эффективности. Каких-либо принятых решений по этому поводу нам не известно. Очевидно, для оценки эффективности основных видов энергосберегающей деятельности следует подобрать ограниченное число представительных показателей (индикаторов), по которым подводить ежегодные итоги работ в области, муниципальном образовании и т.д. По их динамике можно будет судить о результативности энергосберегающей деятельности.

При оценке результатов энергосберегающей деятельности бюджетной организации, коммерческого предприятия, а также крупных территориальных образований (область, регион и др.) можно использовать приведенные ниже пакеты индикаторов.

Индикаторы региональной программы энергосбережения **[66]**

1. Удельное потребление энергоресурсов па единицу валового внутреннего продукта, т у.т./руб.

2. Удельное потребление электроэнергии на единицу валового внутреннего продукта, кВт·ч/руб.

3. Удельное потребление энергоресурсов на душу населения, кг у.т./чел.

4. Удельное потребление электроэнергии на душу населения, кВт·ч/чел.

5. Удельное потребление тепловой энергии на душу населения, Гкал/чел.

6. Доля потребляемых энергоресурсов, получаемых из-за пределов области, %.

7. Доля потребляемой электроэнергии, получаемой из-за пределов

области, %.

8. Доля бюджетных расходов, направляемых на дотации за потребляемые энергоресурсы, %.

9. Фактические потери в инженерных сетях, %:

- электроэнергия,
- тепловая энергия,
- вода,
- нефтепродукты.

10. Количество видов продукции и услуг, сертифицированных по энергоэффективности, шт.

11. Количество квадратных метров жилья, введенных в эксплуатацию в соответствии с требованиями нового СНиП, $м^2$.

12. Количество предприятий, прошедших энергетическое обследование, шт.

13. Количество предприятий, получающих дотации из бюджета, прошедших энергетическое обследование, шт.

14. Доля отопительных систем, оснащенных приборами учета тепловой энергии, %.

15. Доля водопроводных систем, оснащенных приборами учета воды, %.

16. Количество специалистов, прошедших обучение и переквалификацию по энергоснабжению, чел.

Такой способ расчета эффективности энергосбережения позволяет учесть сбережения (перерасход) энергоресурсов за счет внедрения энергосберегающих проектов, научно-технических достижений, перестройки структуры экономики, изменений в ненормируемой части энергопотребления (коммунально-бытовой сектор и т.п.).

Индикаторы программы энергосбережения муниципального образования

1. Удельное потребление энергоресурсов на единицу продукции и услуг

коммунальных предприятий, т у.т./руб.

2. Удельное потребление электроэнергии на единицу продукции и услуг, кВт·ч/руб.
3. Удельное потребление энергоресурсов на душу населения, кг у.т./чел.
4. Удельное потребление электроэнергии на душу населения, кВт·ч/чел.
5. Удельное потребление тепловой энергии на душу населения, Гкал/чел.
6. Доля бюджетных расходов, направляемых на дотации за энергоресурсы, %.
7. Расчетные потери в инженерных сетях, %:
   - электроэнергия,
   - тепловая энергия,
   - вода,
   - нефтепродукты.
8. Количество видов продукции и услуг, сертифицированных по энергоэффективности, шт.
9. Количество квадратных метров жилья, введенных в эксплуатацию в соответствии с требованиями новым СНиП, $м^2$.
10. Количество предприятий и объектов, прошедших энергетическое обследование, шт.
11. Количество специалистов прошедших обучение и переквалификацию по энергосбережению, чел.
12. Доля отопительных систем, оснащенных приборами учета тепловой энергии, %.
13. Доля водопроводных систем, оснащенных приборами учета воды, %.
14. Число проведенных энергоаудитов (обследований).

Индикаторы программы энергосбережения предприятия (организации)

1. Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, т у.т./кВт·ч.
2. Удельный расход условного топлива на выработку тепловой энер-

гии, кг у.т./Гкал.

3. Динамика удельного расхода условного топлива на выработку электроэнергии по отношению к предыдущему периоду, %.

4. То же, тепловой энергии.

5. Расход электроэнергии на собственные нужды, %.

6. Динамика расхода электроэнергии на собственные нужды, %.

7. Расход электроэнергии на производственные нужды, %.

8. Динамика расхода электроэнергии на производственные нужды, %.

9. Расход электроэнергии на хозяйственные нужды, %.

10. Динамика расхода электроэнергии на хозяйственные нужды, %.

11. Расчетные потери электроэнергии в сетях 110 кВ и выше, %.

12. Динамика потерь электроэнергии в сетях 110 кВ и выше, %.

13. Расчетные потери электроэнергии в сетях 6 – 10…35 кВ, %.

14. Динамика потерь электроэнергии в сетях 6 – 10…35 кВ, %.

15. Расчетные потери электроэнергии в сетях 0,4 кВ, %.

16. Динамика потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ, %.

17. Доля постоянных потерь электроэнергии, %.

18. Динамика потерь тепловой энергии в сетях, %.

19. Годовой отчетный максимум электрической нагрузки зима/лето, кВт/кВт.

20. Динамика годового максимума электрических нагрузок, %.

21. Динамика годового максимума тепловых нагрузок, %.

22. Затраты на реализацию энергосберегающих мероприятий, тыс. руб.

23. Годовая экономия топлива.

24. Годовая экономия электроэнергии.

25. Годовая экономия тепловой энергии.

26. Динамика себестоимости производства и передачи электроэнергии.

27. Динамика себестоимости производства и передачи тепловой энергии, %.

28. Невостребованные инвестиции на ввод мощностей, соответствующих

величине снижения максимума нагрузки, млн. руб.

29. Динамика среднего тарифа на электроэнергию, коп./ кВт·ч.

30. Динамика тарифа на тепловую энергию, руб./Гкал.

Индикаторы программы энергосбережения бюджетной организации

1. Доля энергетических расходов в бюджете учреждения, %.

2. Удельный расход электроэнергии на одного сотрудника (учащегося) и т.п., кВт·ч/чел.

3. Удельный расход тепловой энергии на одного сотрудника, ккал/чел.

4. Удельный расход воды на одного сотрудника, $м^3$/ чел.

5. Доля инженерных систем, оснащенных приборами учета, %.

6. Доля электроэнергии, используемой для учебно-научно-производственных целей, %.

7. Доля тепловой энергии, используемой для учебно-научно-производственных целей, %.

8. Расчетные и фактические потери электроэнергии в сетях, %.

9. Расчетные и фактические потери тепловой энергии в сетях, %.

10. Расчетные и фактические потери воды в сетях, %.

11. Утвержденные лимиты на энергоресурсы.

12. Проведение энергетического обследования.

13. Объем затрат на энергосбережение, тыс. руб.

14. Наличие согласованного энергопаспорта.

16.3. Энергоемкость производства и социально-экономические показатели ряда стран

Энергоемкость валового внутреннего продукта имеет важное значение и определяет основные характеристики социально-экономического развития любой страны. В качестве методического материала ниже приведены зависимости ряда социальных и экономических показателей от энер-

гоэффективности промышленного производства различных стран. Эти материалы могут быть использованы в повседневной учебной работе.

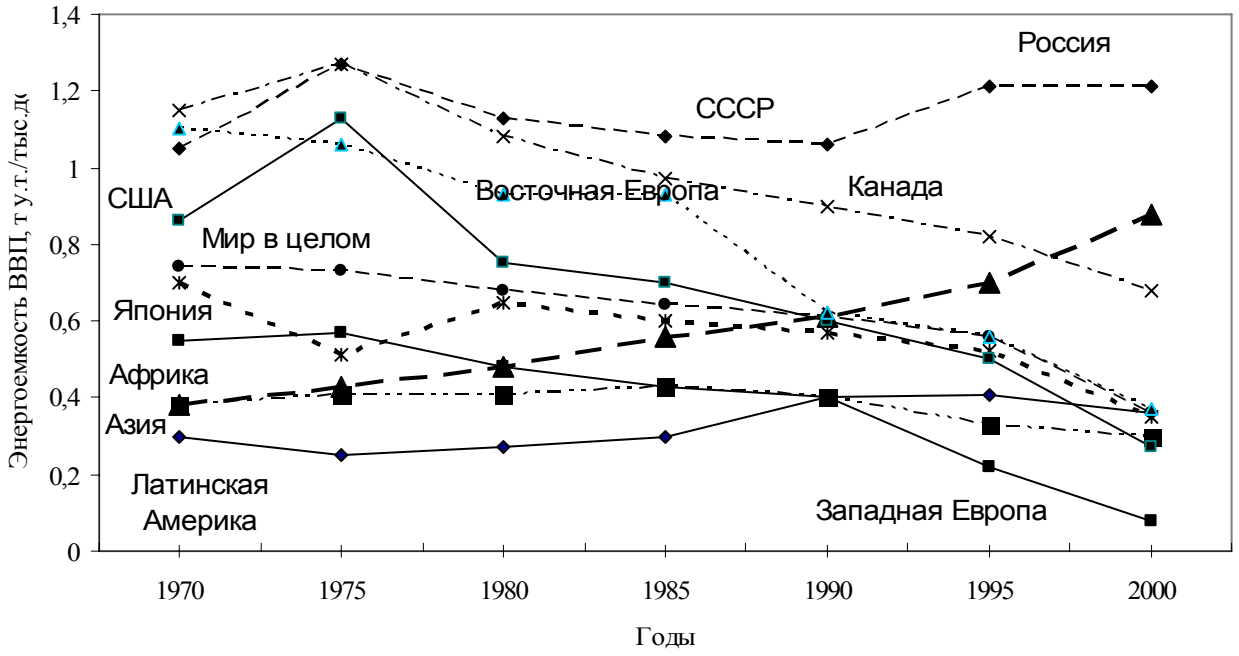


Рис. 16.1. Энергоемкость ВВП стран мира в период 1970 – 2000 гг.

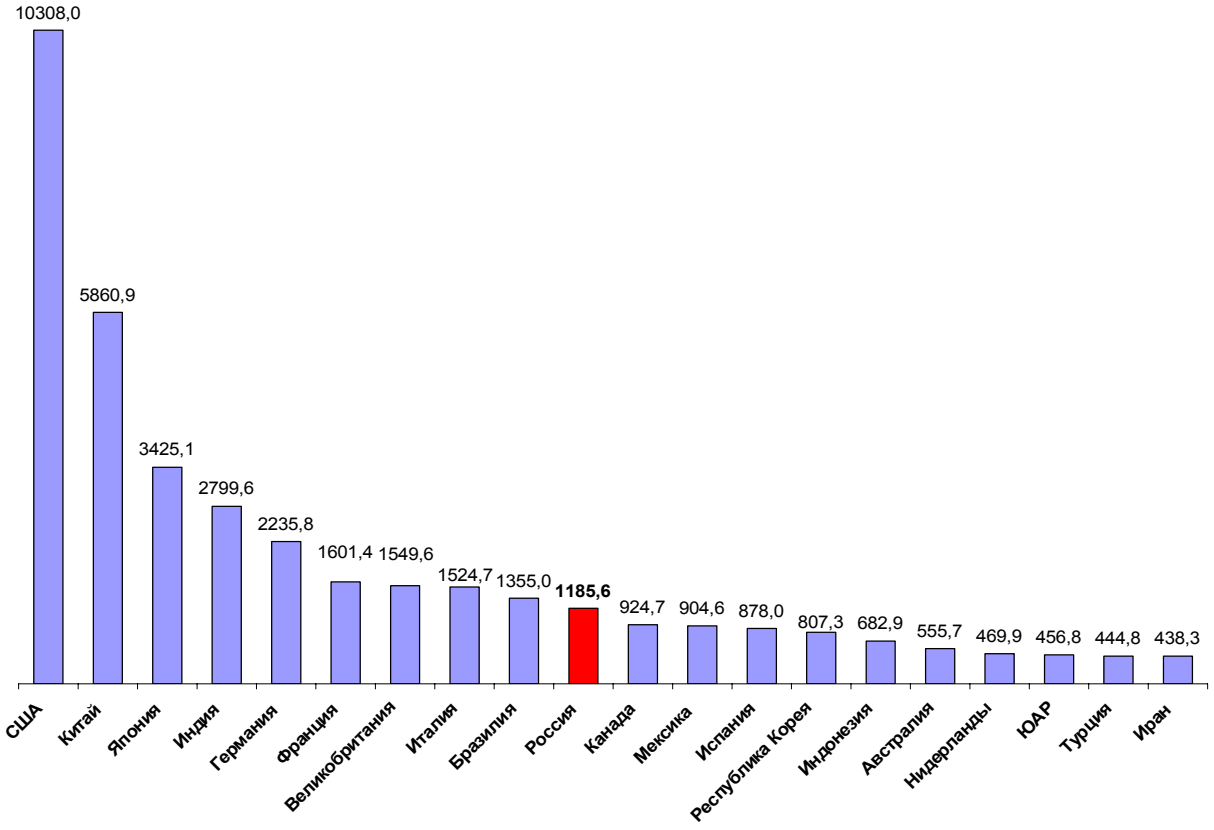


Рис. 16.2. Классификация стран по объему ВВП с учетом паритета покупательной способности валют в 2002 г., млрд. дол. США

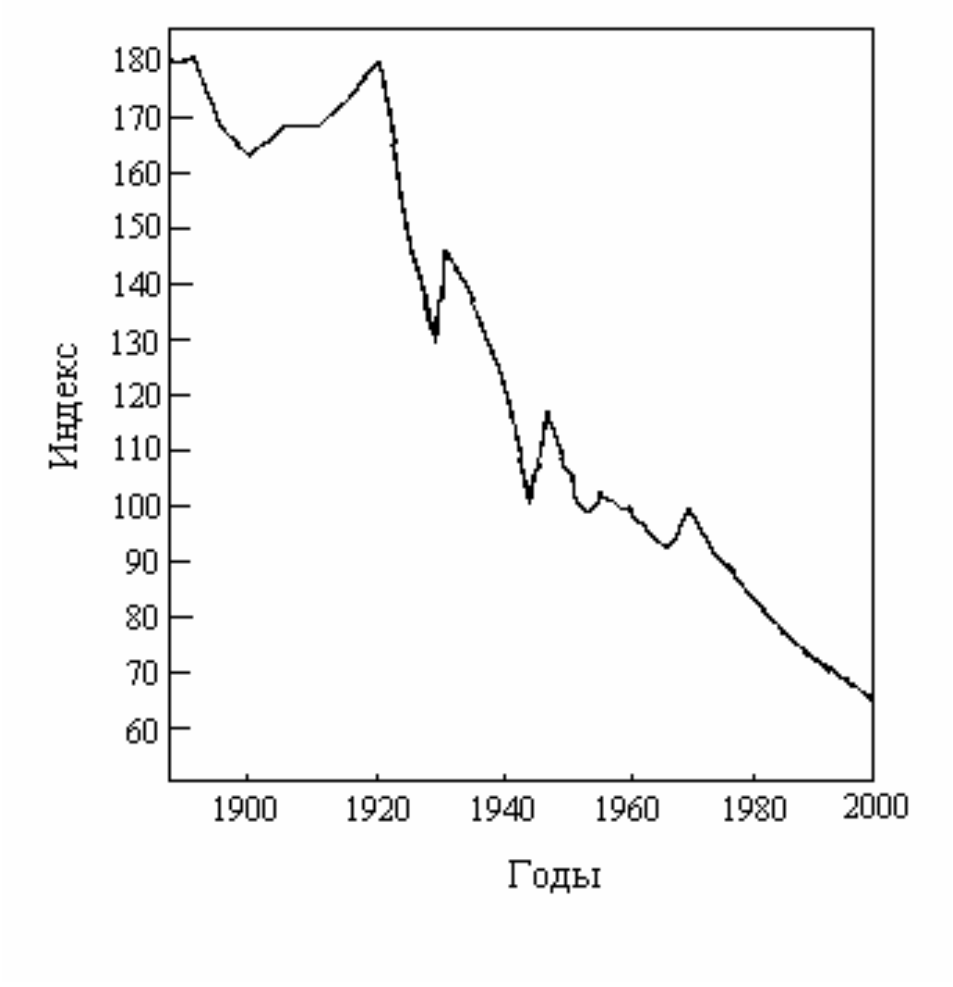


Рис. 16.3. Изменение индекса удельного расхода энергии на 1 дол. США прироста ВВП США с 1890 до 2000 г. (за 100 принят показатель 1958 г.)

Таблица 16.4

Динамика и прогноз душевого потребления электроэнергии (нетто) в мире, тыс. кВт·ч/чел.

Страны	1990	2000	2010	2020	Общий темп роста в 2001 – 2020 гг., %
Промышленно-развитые страны в целом В том числе:	7,2	8,0	9,2	10,3	129
США	11,1	12,2	13,5	14,7	121
Канада	15,6	16,6	18,2	18,7	113
Великобритания	5,0	5,6	6,7	7,3	130
Германия	6,2	6,1	7,4	8,6	141
Франция	5,7	6,9	8,0	9,2	133
Япония	6,2	7,5	8,6	9,8	131
Развивающиеся страны в целом В том числе:	0,57	0,85	1,14	1,5	176
Китай	0,48	0,91	1,5	2,3	253
Россия	6,2	4,9	5,9	7,4	151
Мир в целом	2,0	2,13	2,5	2,9	136

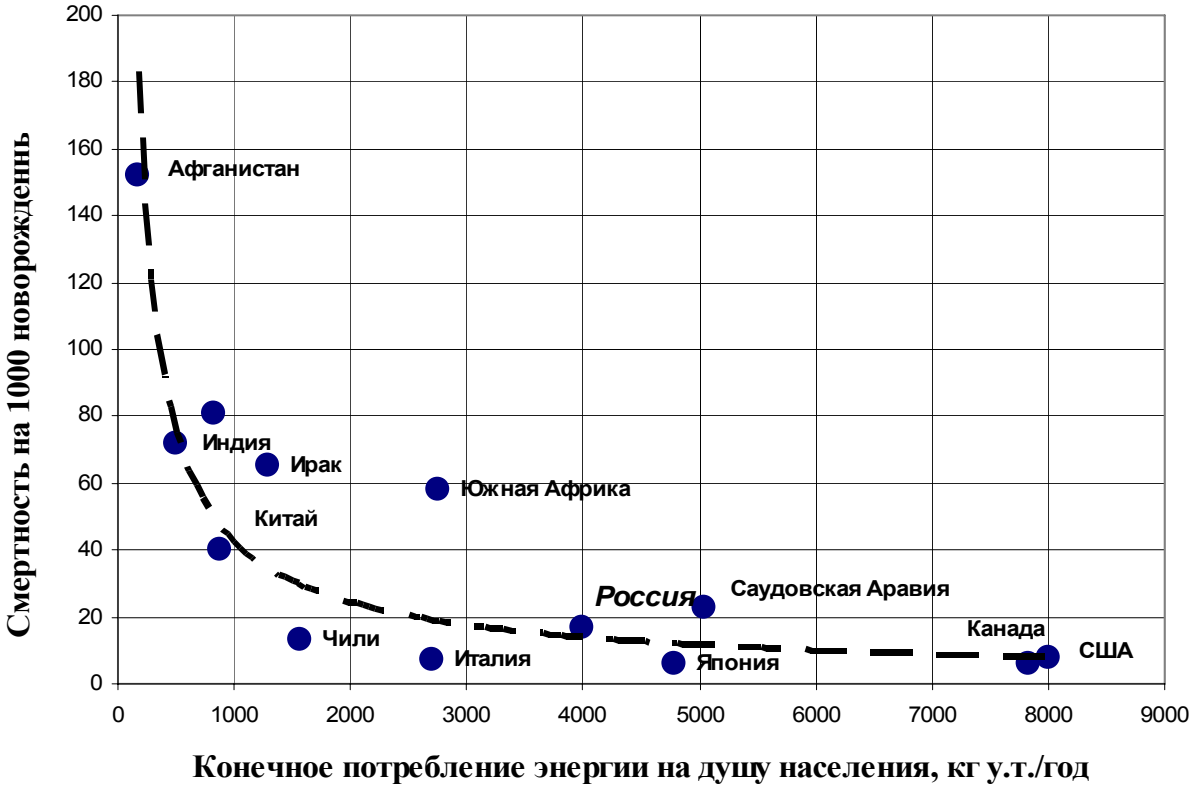


Рис. 16.4. Уровень детской смертности в мире (по данным ООН, 2001 г.)

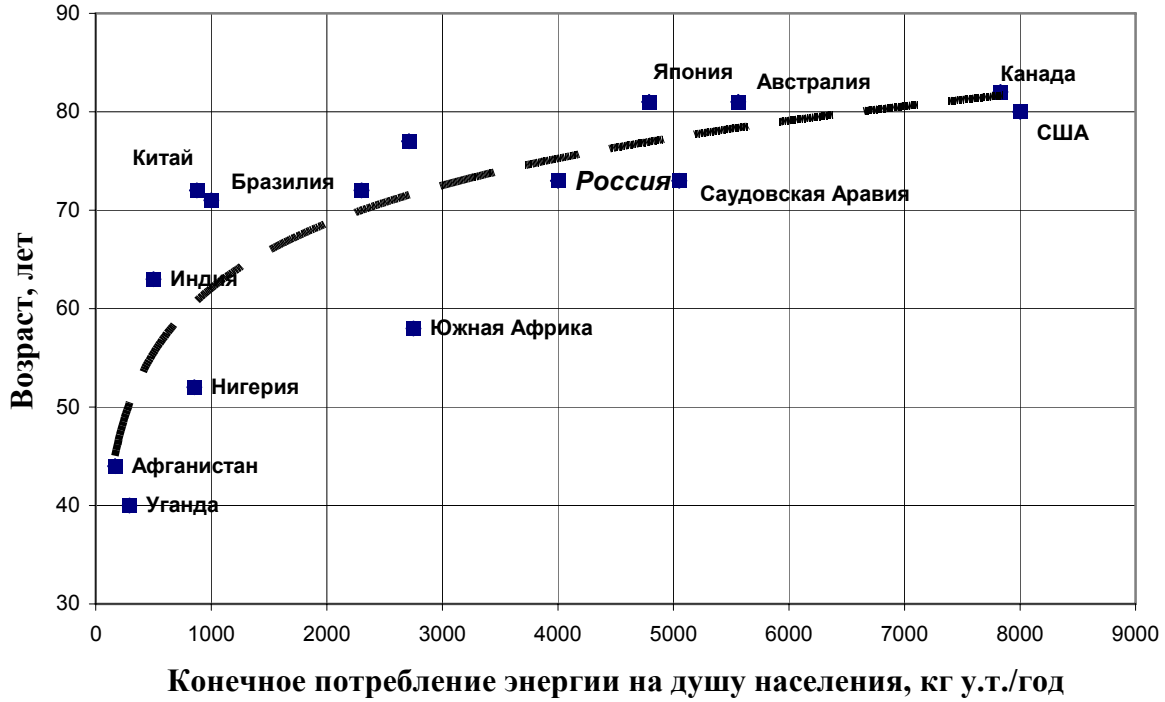


Рис. 16.5. Продолжительность жизни женщин (по данным ООН, 2001 г.)

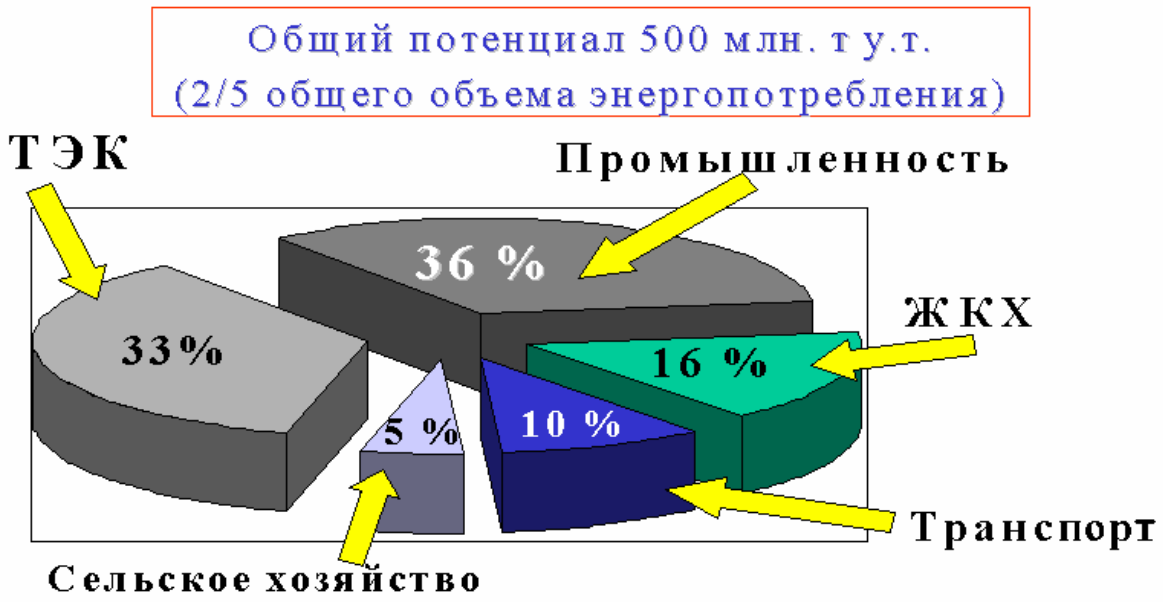


Рис. 16.6. Потенциал энергосбережения России (2000 г.)

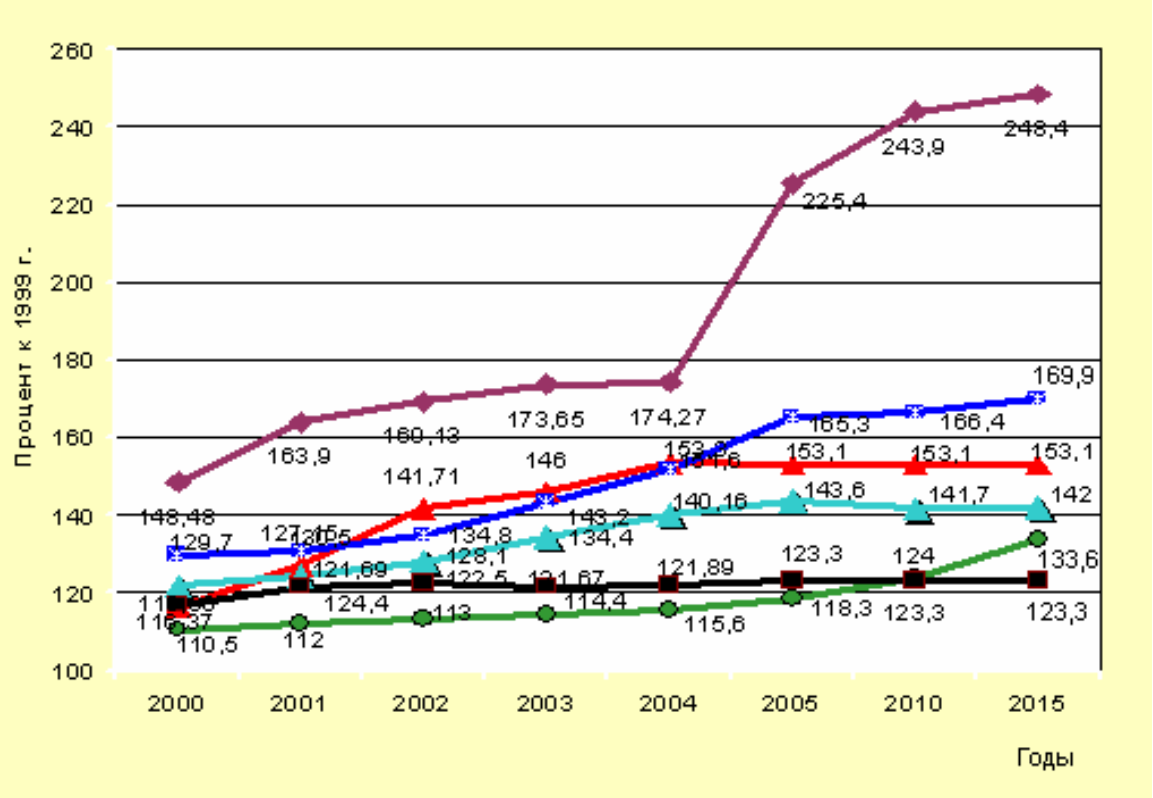


Рис. 16.7. Динамика темпов роста производства важнейших видов продукции черной металлургии в Свердловской области (2000 – 2015 гг.):

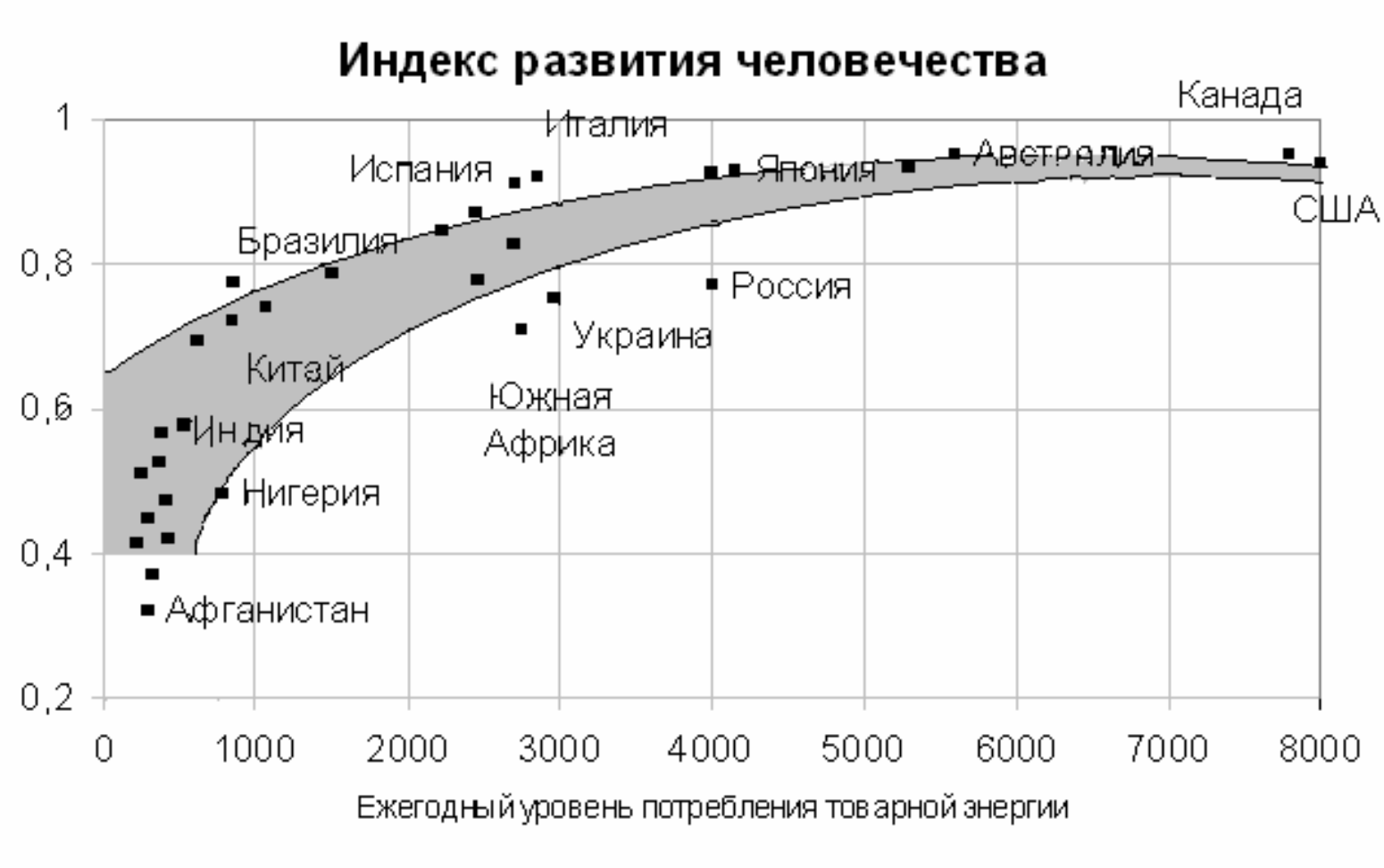


Рис. 16.8. Сравнение индекса развития человечества с ежегодным уровнем потребления товарных энергоресурсов производственного назначения на душу населения в среднем
Источник: Программа развития ООН (2001 г.)

17. История энергосбережения в лицах

В данном разделе в хронологическом порядке приводятся краткие биографические сведения о людях, которые в свое время в прямой или косвенной форме говорили о рациональном использовании энергии, считали энергию глобальной проблемой человечества. Целью жизни многих из них было повышение эффективности использования энергетических ресурсов своего времени. К сожалению, данный список не является достаточно полным и требует уточнения.

Аристотель (384 – 322 до н. э.), древнегреческий философ. Учился у Платона в Афинах. Воспитатель Александра Македонского. Сочинения Аристотеля охватывают все отрасли знаний той поры, он автор учения об основных принципах бытия. Предложил ряд оригинальных терминов и определений, в том числе и в области знаний, которую в настоящее время называют энергетикой. Аристотелем введено понятие *энтелехия* (греч. ***enteléchia*** – завершение, осуществляемость), означающее осуществление какой-либо возможности бытия (потенция – потенциальная энергия), а также движущий фактор этого осуществления, выраженный через единство четырех основных принципов бытия: формы, материи, действующей причины и цели.

По мере развития современной теории энергоэффективности растет интерес к основным сочинениям Аристотеля («Физика», «Метафизика» и др.).

Катон Старший (234 – 149 гг. до н. э.). Много внимания в своей работе «О земледелии» уделил рассуждениям о рациональном использовании рабов. Его советы, по существу, это не что иное, как перечисление энергосберегающих мероприятий в сельском хозяйстве того времени. По мнению Катона Старшего, реализация энергосберегающих мероприятий была целесообразней, чем увеличение количества рабов.

Герон Александрийский (ок. I в.), древнегреческий ученый. Дал систематическое изложение основных достижений античного мира по прикладной механике и математике. Изобрел ряд приборов и автоматов. Утверждают, что впервые построил прототип реактивной турбины, потребность в которых появилась 1800 лет спустя.

Папен (Papin) Дени (1647 – 1714 гг., по другим данным, 1712), французский физик, один из изобретателей теплового двигателя. С 1675 г. работал в Лондоне (в 1688 – 1707 гг. – в Германии). Изобрел паровой котел с предохранительным клапаном (1680), несколько машин для подъема воды. В 1690 г. описал замкнутый термодинамический цикл паро-атмосферного двигателя, но создать работоспособный двигатель не смог.

Юнг (Янг) Томас (1773 – 1829), английский ученый, один из основоположников волновой теории света. Сформулировал принцип интерференции (1801), высказал идею о поперечности световых волн (1817). Ввел модуль упругости, названный его именем. Труды по акустике, астрономии, расшифровке египетских иероглифов. Одним из первых в 1807 г. стал использовать термин «энергия» применительно к живой силе.

Ползунов Иван Иванович (1728 – 1766), русский теплотехник. В 1763 г. разработал проект универсального парового двигателя – первой в мире двухцилиндровой машины непрерывного действия, осуществить который ему не удалось. В 1765 г. построил по другому проекту первую в России паросиловую установку для заводских нужд, проработавшую 43 дня; за неделю до ее пробного пуска Ползунов скончался. По праву считается первым русским теплотехником. В своих записках подчеркивал оторванность науки его времени от практики.

Черепановы, российские изобретатели, крепостные заводчиков Демидовых: отец Ефим Алексеевич (1774 – 1842) и сын Мирон Ефимович (1803 – 1849). Построили первый в России паровоз (1833 – 1834) и железную дорогу длиной 3,5 км. Построили котел для утилизации тепла дымовых газов печи на металлургическом заводе.

Дэви (Дейви) (Davy) **Гемфри** (Хамфри) (1778 – 1829), английский химик и физик, один из основателей электрохимии, иностранный почетный член Петербургской АН (1826). Получил электролизом водород и кислород (из воды), K, Na, Ca, Sr, Ba, Mg и Li. Описал электрическую дугу. Предложил водородную теорию кислот. Открыл обезболивающее действие гемиоксида азота. Изобрел безопасную рудничную лампу.

Кориолис (Coriolis) **Гюстав Гаспар** (1792 – 1843), французский ученый. Труды по теории относительности движения, ввел понятия так называемой силы Кориолиса и ускорения Кориолиса.

Карно Никола Леонар Сади (1796 – 1832), французский физик и инженер, один из основателей термодинамики. Сын Л. Н. Карно. Рассмотрел идеальный термодинамический цикл и доказал теорему, названную его именем. Считал, что тепловым машинам «суждено совершить большой переворот в цивилизованном мире», и одним из первых задался целью определить причины их несовершенства.

Клапейрон (C1apeyron) **Бенуа Поль Эмиль** (1799 – 1864), французский физик и инженер. В 1820 – 1830 гг. работал в России, член-корреспондент Петербургской АН (1830). Ввел в термодинамику индикаторные диаграммы, так называемые уравнения Клапейрона и Клапейрона–Клаузиуса. Первым стал применять графический метод теоретического исследования работы тепловых машин.

Клаузиус (Clausius) **Рудольф Юлиус Эмануэль** (1822 – 1888), немецкий физик, один из основателей термодинамики и молекулярно-кинетической теории теплоты, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1878). Дал (одновременно с У. Томсоном) первую формулировку второго начала термодинамики (1850), ввел понятия энтропии (1865), идеального газа, длины свободного пробега молекул. Обосновал (1850) так называемое уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Доказал теорему вириала (1870). Разработал теорию поляризации диэлектриков (формула Клаузиуса–Моссотти). Сформулировал гипотезу «тепловой смерти Вселенной».

Томсон Уильям (в 1892 г. за научные заслуги получил титул барона Кельвина, Kelvin) (1824 – 1907), английский физик, член (1851) и президент (1890 – 1895) Лондонского королевского общества, иностранный член-корреспондент (1877), иностранный почетный член (1896) Петербургской АН. Труды по многим разделам физики (термодинамика, теория электрических и магнитных явлений и др.). Дал одну из формулировок второго начала термодинамики, предложил абсолютную шкалу температур (шкала Кельвина). Экспериментально открыл ряд эффектов, названных его именем (в том числе эффект Джоуля–Томсона). Активный участник осуществления телеграфной связи по трансатлантическому кабелю, установил зависимость периода колебаний контура от его емкости и индуктивности. Изобрел многие электроизмерительные приборы, усовершенствовал ряд мореходных инструментов. Первым дал строгое определение понятия энергии.

Тимирязев Климентий Аркадьевич (1843 – 1920), естествоиспытатель, один из основоположников русской научной школы физиологов растений, член-корреспондент Российской АН (1917 г.); член-корреспондент Петербургской АН с 1890 г. Профессор Петровской земледельческой и лесной академии (1871) и Московского университета (1878 – 1911), ушел в отставку в знак протеста против притеснений студенчества. Депутат Моссовета (1920). Раскрыл закономерности фотосинтеза как процесса использования света для образования органических веществ в растении. Труды по методам исследования физиологии растений, биологическим основам агрономии, истории науки. Один из первых пропагандистов дарвинизма и материализма в России. Популяризатор и публицист («Жизнь растения», 1878; «Наука и демократия», 1920). Отмечал прямую связь между учением о рассеянии энергии (лорд Кельвин) и учением о борьбе за существование (Ч. Дарвин).

Больцман (Boltzmann) **Людвиг** (1844 – 1906), австрийский физик, один из основателей статистической физики и физической кинетики, ино-

странный член-корреспондент Петербургской АН (1899). Вывел функцию распределения, названную его именем, и основное кинетическое уравнение газов. Дал (1872) статистическое обоснование второго начала термодинамики. Вывел один из законов теплового излучения (закон Стефана–Больцмана). Доказал несостоятельность теории «тепловой смерти Вселенной», см. Р. Клаузиус.

Подолинский Сергей Андреевич (1850 – 1891). Окончил физико-математический факультет Киевского университета и медицинский факультет университета во Вроцлаве. В 1880 г. опубликовал в журнале «Слово» основную свою работу «Труд человека и его отношение к распределению энергии». Впервые была показана энергетическая сущность труда: труд расходует энергию, но в его результатах энергии сконцентрировано больше, чем было затрачено. Он показал, что во всех случаях потребление энергии служит «увеличению средств» для «нового производства», а также утверждал, что именно общество со стремлением к быстрому накоплению энергии может быстро идти вперед. Быстро накапливается энергия там, где ее рационально используют. Впервые показал исчерпаемость невозобновляемых источников энергии и обязательность перехода на возобновляемые источники энергии.

Оствальд (Oswald) **Вильгельм Фридрих** (1853 – 1932), немецкий физикохимик и философ, иностранный член–корреспондент Петербургской АН (1896). Труды по теории растворов электролитов, химической кинетике и катализу. Положил начало (1889) изданию серии «Классики точных наук»; его работы способствовали становлению науковедения. Нобелевская премия (1909). Глава «энергетизма» – полуфилософского учения, провозгласившего замену материи энергией. Очевидно, здесь шла речь не о возможности движения без материи, а об энергетической основе материального мира.

Дизель (Diesel) **Рудольф** (1858 – 1913), немецкий инженер. Создал (1897) двигатель внутреннего сгорания, названный его именем. Своим

изобретением дал начало развитию целого комплекса машин и устройств, в основе которых дизельный двигатель.

Приведем здесь только некоторые из этих машин и систем:

- Дизель, поршневой двигатель внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия. Работает на дизельном топливе, экономичен. Применяется в основном на судах, тепловозах, грузовых автомобилях, тракторах, дизельных электростанциях. Назван по имени Р. Дизеля.
- Дизельная электростанция, энергетическая установка, оборудованная одним или несколькими генераторами электрического тока, приводимыми во вращение дизельными двигателями. Используются в сельском хозяйстве, лесной промышленности, на транспорте и др. В качестве основного, резервного или аварийного, стационарного или передвижного источника электроэнергии.
- Дизельное топливо, жидкое нефтяное топливо: в основе керосино-газойлевые фракции прямой перегонки нефти (для быстроходных дизелей) и более тяжелые фракции или остаточные нефтепродукты (для тихоходных дизелей). Важнейшая характеристика дизельного топлива – цетановое число.
- Дизель-поезд, железнодорожный состав из моторных (оборудованных дизелями) и прицепных вагонов, в котором крайние (головные) вагоны оборудованы пультами управления.
- Дизель-электроход, судно (электроход), на котором электрические генераторы приводятся в действие дизелями.

Стодола (Stodola) **Аурель** (1859—1942), словацкий теплотехник. С 1892 г. жил в Швейцарии. Труды по теории и расчету паровых и газовых турбин, теории автоматического регулирования. Ввел (совместно с Ж. Гюи) понятие «технической работоспособности», или максимальной технической работы, что впоследствии было названо «эксергией».

Вернадский Владимир Иванович (1863 – 1945), естествоиспытатель, мыслитель и общественный деятель. Основоположник комплекса со-

временных наук о Земле — геохимии, биогеохимии, радиологии, гидрогеологии и др. Создатель многих научных школ. Профессор Московского университета (1898 – 1911), ушел в отставку в знак протеста против притеснений студенчества. Академик Петербургской АН (1912), академик Российской АН (1917), академик АН СССР (1925), первый президент АН Украины (с 1919). Идеи Вернадского сыграли выдающуюся роль в становлении современной научной картины мира. В центре его естественнонаучных и философских интересов – разработка целостного учения о биосфере, живом веществе (организующем земную оболочку) и эволюции биосферы в ноосферу, в которой человеческий разум и деятельность, научная мысль становятся определяющим фактором развития, мощной силой, сравнимой по своему воздействию на природу с геологическими процессами. Учение Вернадского о взаимоотношении природы и общества оказало сильное влияние на формирование современного экологического сознания. Развивал традиции русского космизма, опирающегося на идею внутреннего единства человечества и космоса. Вернадский — один из лидеров земского либерального движения и партии кадетов (конституционалистов-демократов). Организатор и директор Радиевого института (1922 – 1939), Биогеохимической лаборатории (с 1923 г., ныне Институт геохимии и аналитической химии РАН им. Вернадского). Государственная премия СССР (1943). Считал, что потенциальная энергия страны дает представление о имеющихся в данной стране богатствах. Ему принадлежит высказывание, что настало время перехода человеческого разума от идеи «покорения природы» к новой идее «рационального природопользования через энергосбережение».

Грумм-Гржимайло (Грум-Гржимайло) Владимир Ефимович (1864 –1928), металлург, член-корреспондент АН СССР (1927). Автор гидравлической теории расчета пламенных печей. Труды по физико-химическим основам сталеплавильных процессов, калибровке прокатных валков, производству огнеупоров. В 1920 г. В. Грумм-Гржимайло был при-

глашен в Уральский государственный университет, где впервые в мире и России с его участием была организована кафедра металлургии стали и теории печей. В 1924 – 1925 гг. им была издана книга «Пламенные печи», где была изложена гидравлическая теория печей, заложившая основы эффективного использования топлива в печных агрегатах самого различного технологического назначения.

Нернст (Nernst) **Вальтер** (1864 – 1941), немецкий физикохимик, один из основоположников современной физической химии, иностранный член-корреспондент Российской АН (1923), иностранный почетный член АН СССР (1926). Сформулировал теорему (1906) – так называемое 3-е начало термодинамики, открыл одно из термомагнитных явлений (1886 г., эффект Нернста–Эттингсхаузена). Труды по теории растворов (закон распределения Нернста), электрохимии, кинетике и катализу; разработал (1904) диффузионную теорию гетерогенных химических реакций. Нобелевская премия (1920). Ему принадлежит высказывание: «Разводить теплокровных животных – значит обогревать на свои деньги мировое пространство».

Богданов (Малиновский) **Александр Александрович** (1873 – 1928), политический деятель, врач, философ, экономист. Член РСДРП в 1810 –1909 гг., большевик, с 1905 г. член ЦК. Руководитель группы «Вперед». Автор утопических романов «Красная звезда», «Инженер Мэнни». С 1918 г. идеолог *Пролеткульта*. Основное сочинение – «Всеобщая организационная наука». Выдвинул идею создания науки об общих принципах организации – тектологии, предвосхитил некоторые положения кибернетики. С 1926 г. организатор и директор Института переливания крови; погиб, производя на себе опыт.

Он отмечал господствующее положение принципа сохранения и ограниченное действие закона возрастания энтропии. Пожалуй, это и есть то, что сейчас называют «энергосберегающий путь развития».

Бриллюэн (Brillouin) **Леон** (1889 – 1969), французский физик, с

1941 г. – в США. Труды по теории твердого тела (ввел так называемые зоны Бриллюэна), квантовой механике, магнетизму, радиофизике, теории информации, философии естествознания. Ввел понятие отрицательной энтропии – «негэнтропии». Негэнтропия характеризует качество энергии, и ею обладают, в первую очередь, системы, способные производить механическую или электрическую работу (сжатая пружина, заряженный аккумулятор и т. п.).

Капица Петр Леонидович (1894 – 1984), физик, один из основателей физики низких температур и физики сильных магнитных полей, академик АН СССР (1939), дважды Герой Социалистического Труда (1945, 1974). В 1921 – 1934 гг. в научной командировке в Великобритании. Организатор и первый директор (1935 – 1946 гг. и с 1955 г.) Института физических проблем АН СССР. Открыл сверхтекучесть жидкого гелия (1938). Разработал способ сжижения воздуха с помощью турбодетандера, новый тип мощного СВЧ-генератора. Обнаружил, что при ВЧ-разряде в плотных газах образуется стабильный плазменный шнур с температурой электронов 10^5 – 10^6 К. Государственная премия СССР (1941, 1943), Нобелевская премия (1978). Золотая медаль им. Ломоносова АН СССР (1959). Сказал, что преодоление надвигающегося… энергетического кризиса представляет для человечества наиболее крупную глобальную проблему.

Опарин Александр Иванович (1894 – 1980), биохимик, академик АН СССР (1946), Герой Социалистического Труда (1969). Один из организаторов и директор (с 1946) Института биохимии АН СССР. Выдвинул гипотезу возникновения жизни на Земле (1922). Исследования по биохимии переработке растительного сырья, действию ферментов в растении. Ленинская премия (1974). Золотая медаль им. Ломоносова АН СССР (1980).

Семенов Николай Николаевич (1896 – 1986), ученый, один из основоположников химической физики, основатель научной школы, академик АН СССР (1932), дважды Герой Социалистического Труда (1966, 1976). Создал общую количественную теорию цепных реакций (1934). Раз-

работал теорию теплового взрыва газовых смесей. Ленинская премия (1976), Государственная премия СССР (1941, 1949), Нобелевская премия (1956, совместно с С. Хиншелвудом). Золотая медаль им. Ломоносова АН СССР (1970). Отметил, что энергоемкость пищи и кормов, производимых в год, составляет около 70 % энергоемкости добываемого за это время горючего.

Пригожин (Prigogine) **Илья Романович** (род. 1917) бельгийский физик и физикохимик. Родился в России. Один из основоположников термодинамики неравновесных процессов, иностранный член АН СССР (с 1982), иностранный член РАН (1991). Доказал теорему, названную его именем. Нобелевская премия (1977).

Теорема Пригожина, доказанная им (1947), – теорема термодинамики неравновесных процессов: при внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния, стационарное состояние системы соответствует минимальному производству энтропии.

Ввел принцип минимума возникновения энтропии. Именно из этого принципа надо исходить, когда производится оценка предельных возможностей любой двигательной конструкции (максимальной энергетической эффективности).

Римский клуб, международная общественная организация. Основана в 1968 г. с целью исследования развития человечества в эпоху научно-технической революции. Объединяет около 100 ученых, общественных деятелей, бизнесменов из многих стран, в том числе России. Поощряет исследовательские проекты и публикует так называемые доклады Римскому клубу, которые привлекли внимание к *глобальным проблемам* и вызвали острую полемику. Именно с этой организацией связывают начало работ по устойчивому развитию общества, в основу которого положено эффективное использование энергии и рациональное природопользование.

18. Пословицы народов мира

Пословицы народов Востока

1. Вечные ледники и те сдвигаются (осет.)
2. И солнечная сторона становится теневой (кор.)
3. И горячая вода остывает (вьетн.)
4. И глупость имеет пределы (япон.)
5. Не лей туда, где не наполняется (ногайск.)
6. Воду корзиной не черпают (ньянг.)
7. Лить воду в разбитый кувшин (урду)
8. Что утекло - обратно не вернется (азерб.)
9. Пролитое потерялось, ушедшее ушло (якут.)
10. Где прибыль, там нет убытка (тур.)
11. Где знание - нет места невежеству (тур.)
12. Враг человека - его глупость, друг человека - его ум (араб.)
13. Необходимость - мать изобретения (урду)
14. Знание - начало сомнений (кор.)
15. Путь в десять тысяч ли начинается с первого шага (кит.)
16. Богатство начинается с мелочи (кит.)
17. Копейка рубль бережет (рус.)
18. Кто не бережет копейки, у того и рубль не держится (карел.)
19. Большие несчастья происходят из малых причин (япон.)
20. Из малого выходит большое (мокша)
21. И из капель образуется озеро (дарг.)
22. Большая река образуется из маленьких ручейков (ньянг.)
23. Всякое дело начинается с малого (тур.)
24. Мать денег - копейка (узб.)
25. Маленькая тропка выходит на большую дорогу (сомали)

26. Капля - морю добавка (монг.)
27. Море потому велико, что и мелкими речками не брезгует (япон.)
28. И море по ведрышку можно вычерпать (индон.)
29. Своя копейка дороже соседского рубля (карел.)
30. Где знание - нет места невежеству (тур.)
31. Знание - это богатство, которое нельзя украсть (тагал.)
32. Знания дороже денег (мокша)
33. Нет сокровища лучше, чем наука (бурят.)
34. Невежество - это ночь разума (фиджи)
35. Быть неграмотным - все равно что сидеть в темном ящике (бирм.)
36. Знание - свет, невежество - туча (тагал.)
37. Грамотный человек - словно солнце, неграмотный – что черная ночь (хакас.)
38. Спрашивать - потребность души, пребывать в невежестве - стыд для мужчины (курд.)
39. Человека греет не шуба, а работа (турк.)

Пословицы народов России

1. Кто мотает, в том пути не бывает
2. Скупость - не глупость
3. Лучше скуповато, чем мотовато
4. Лучше поскупиться, чем промотаться
5. И колодезь причерпывается
6. Легче прожить деньги, чем нажить
7. Кто скупо живет, тот деньгу бережет
8. Не приходом люди богатеют, а расходами
9. Бог даст денежку, а черт дырочку, и пойдет божья денежка в чертову дырочку
10. В рубле копейки нет, так и не полон рубль

11. Без копейки рубля нет. Рубль крепок копейкой
12. Копейка рубль бережет, а рубль голову стережет
13. Домашняя копейка лучше отхожего рубля
14. Копейка к копейке – проживет и семейка
15. Из крошек кучка, из капель море
16. Запор да замок – святое дело
17. Добыча невеличка, да бережь большая
18. Бережь дороже прибытка
19. Бережливость лучше богатства
20. Кто не бережет копейки, сам рубля не стоит
21. Бережь – половина спасения. Бережь спорее барышей
22. По приходу расход держать
23. Береги денежку про черный день
24. Свои денежки считать не прискучит
25. Деньга на деньгу набегает
26. Деньга деньгу наживает
27. Тот мудрен, у кого карман ядрен
28. Есть в амбаре, будет и в кармане
29. Копейка обоз гонит
30. Бог любит веру, а деньги счет
31. Курица по зернышку клюет, да сыто живет
32. Грамоте учиться всегда пригодится
33. Кто грамоте горазд, тому не пропасть
34. Идти в науку – терпеть муку. Без муки нет и науки
35. Корень учения горек, да плод его сладок
36. Повторенье – мать учения
37. Ученье – свет, а неученье – тьма
38. Не топор тешет, а плотник

19. Основные термины и определения

Абонентная плата – система ценовых ставок, по которым осуществляются расчеты за транспорт электрической энергии по электрическим сетям и услуги, предоставляемые владельцем сетей.

Акционерное общество энергетики и электрификации (АО–энерго) – энергоснабжающая организация в форме акционерного общества открытого типа, основной задачей которого является снабжение электрической и тепловой энергией потребителей на территории определенного региона.

Альтернативные виды топлива – виды топлива (сжатый и сжиженный газ, биогаз, генераторный газ, продукты переработки биомассы, водоугольное топливо и др.), использование которых сокращает (замещает) потребление других видов органического топлива.

Альтернативные энергоресурсы – энергия солнца, ветра, приливов и волн, геотермальных источников.

Безучетное потребление топливно-энергетических ресурсов – потребление топливно-энергетических ресурсов предприятиями, организациями или физическими лицами без приборов учета либо при неисправных или некачественных средствах учета, включая такие, которые могут быть легко фальсифицированы.

Бизнес-план – план инвестиционно-финансовой, организационной, производственной, маркетинговой разработки проекта или идеи с целью расширения сбыта продукции, увеличения объема продаж, увеличения прибыли или захвата рынка, обеспечения конкурентоспособности, качества товара. Бизнес-план составляется по определенным правилам, понятным участникам, и показывает текущее положение, желаемое состояние, наиболее эффективный путь развития предприятия.

Валовый внутренний продукт (ВВП) – обобщающий экономиче-

ский, статистический показатель, выражающий совокупную стоимость продукции, произведенной внутри страны в рыночных ценах.

Валовый национальный продукт (ВНП) – экономический показатель, выражающий совокупную стоимость конечных товаров и услуг в рыночных ценах. Включает стоимость потребленных населением товаров и услуг, государственных закупок, капитальные вложения и сальдо платежного баланса.

Возобновляемые нетрадиционные источники энергии – источники постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии: солнца, ветра, воды, тепла земли, биомассы, морей.

Вторичный энергетический ресурс – энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках, процессах), который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других агрегатов (процессов).

Государственная энергосберегающая политика – административно-правовое и финансово-экономическое регулирование процессов добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, распределения и использования топливно-энергетических ресурсов с целью их рационального использования и экономного расходования.

Государственный энергетический надзор – осуществление государственного контроля за техническим состоянием и безопасным обслуживанием электро- и теплоснабжающих установок потребителей, оборудования и основных сооружений электростанций, электрических и тепловых сетей энергоснабжающих организаций, рациональным и эффективным использованием электрической и тепловой энергии и других энергоресурсов на предприятиях, в организациях и учреждениях независимо от принадлежности и форм собственности.

Демонстрационная зона высокой энергетической эффективности

– совокупность осуществляемых на ограниченной территории энергосберегающих проектов с созданием благоприятных условий для демонстрации суммарного энергетического и экологического эффектов в целях последующего распространения положительного опыта.

Дефицитная энергоснабжающая организация – энергоснабжающая организация, собственное производство электрической или тепловой энергии (мощности) которой не обеспечивает объема потребления в обслуживаемом регионе.

Дотационные выплаты – сумма денежных средств, выделяемых из бюджета для покрытия убытков, на поддержание розничных цен на отдельные товары.

Жизненный цикл энергоресурса – определенная процедура преобразования, транспортировки, хранения энергоресурса от его добычи или производства до конечного преобразования или утилизации.

Заявленная мощность (заявленный максимум) – величина электрической мощности, установленная договором на использование электроэнергии, которую предприятие получает в период максимальной нагрузки энергоснабжающей организации.

Избыточная энергоснабжающая организация – энергоснабжающая организация, собственное производство электрической энергии (мощности) которой превышает потребление в обслуживаемом регионе.

Индекс промышленного развития – показатель, характеризующий изменение уровня промышленного развития страны относительно уровня предыдущего года.

Индекс стоимости жизни (стоимость потребительской корзины) – стоимость набора потребительских товаров в розничных ценах и тарифов на услуги, потребляемые населением или отдельными социальными группами, минимально необходимого для поддержания жизнедеятельности и работоспособности.

Индекс экономического роста – экономико-статистический показа-

тель, выражающий относительное изменение развития экономики какой-либо страны, региона или отрасли промышленности.

Индикаторы эффективности – указатели, показатели изменения эффективности.

Инфраструктура – комплекс производственных и непроизводственных отраслей, обеспечивающих условия воспроизводства: дороги, энергетика, связь, транспорт, образование, здравоохранение.

Капиталоемкость – показатель, который определяет отношение основного капитала (основных производственных фондов) к произведенной в соответствующий период продукции или ее части – чистому доходу, прибыли, национальному доходу.

Капиталоемкость продукции – экономико-статистический показатель, определяемый отношением основного капитала (основных производственных фондов) к произведенной продукции в натуральном или денежном выражении.

Качество энергии – система показателей, устанавливаемая государственными стандартами или иными нормативными актами, подтверждающая потребительские свойства и пригодность энергии для потребления.

Коммерческий учет энергии – учет сертифицированными средствами измерения электрической и тепловой энергии, отпускаемой потребителям в количественных и качественных показателях, которые являются основанием для коммерческого взаиморасчета за потребленную энергию.

Котельно-печное топливо – топливо, пригодное для использования и обладающее нужными для сжигания показателями качества и теплофизическими свойствами, например, уголь, мазут, газ, торф и др.

Коэффициент полезного действия (КПД) – показатель эффективности использования энергии. Определяется как отношение полезно использованной мощности к суммарной затрачиваемой.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности измерений.

Мониторинг – наблюдение, оценка и прогноз состояния наблюдаемого объекта в связи с изменяющимися факторами внешней среды или внутренними процессами и хозяйственной деятельностью человека.

Монополизм – господство на рынке товаров и услуг одного производителя (продавца) или сравнительно небольшой группы производителей (продавцов), объединившихся с целью захвата рынка, вытеснения конкурентов и контроля цен.

Надежность энергоснабжения – способность выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в условиях, оговоренных в нормативных документах.

Непроизводительные расходы энергоресурсов – потери энергоресурсов, вызванные нарушением требований государственных стандартов для оборудования, проектных показателей, технологических регламентов или бесхозяйственностью.

Нерациональный расход топливно-энергетических ресурсов – расход ТЭР на энергетических установках, в том числе жилых и общественных зданий, для которых на основе энергетической экспертизы выявлены резервы снижения потребления ТЭР.

Норматив расхода топлива и энергии – регламентируемая величина расхода топлива и энергии для данного производства, процесса, продукции, работ и услуг.

Областная (региональная) система энергообеспечения – совокупность предприятий, организаций и объектов энергетики, независимо от организационно-правовых форм, осуществляющих производство, приобретение, передачу, распределение и потребление электрической и/или тепловой энергии, связанных общностью режима.

Обследование – систематическая или разовая проверка состояния хозяйства с целью определения соответствия проводимой работы и полученных результатов плановым, проектным и другим ресурсным возможностям.

Период регулирования – временной интервал (квартал, полугодие, год), принимаемый для расчетов показателей, включаемых в предложения по установлению тарифов на электрическую и тепловую энергию и размера платы за услуги.

План ГОЭЛРО – первый в мире научно обоснованный государственный комплексный план развития экономики страны на основе создания энергетической базы народного хозяйства, который определил основные направления НТП в электроэнергетике: концентрация генерирующих мощностей на крупных электростанциях, создание энергосистем и их объединение в масштабе всей страны. Принят на VIII съезде Советов в декабре 1920 г. и рассчитан на 10–15 лет.

Платежеспособный спрос – объем спроса на товары и услуги, обеспеченный денежными средствами покупателей.

Показатель энергоэффективности – абсолютная или удельная величина потребления энергетических ресурсов, необходимая для производства продукции любого назначения, установленная регламентирующими документами.

Показатель энергоэффективности в составе национальных стандартов – регламентируемся величина или диапазон удельного расхода топлива или энергии для производства данной продукции, работ, услуг.

Полезный отпуск (полезно отпущенная энергия) – отчетный статистический показатель деятельности энергоснабжающей организации, характеризующий количество электрической или тепловой энергии, отпускаемой потребителям.

Потенциал энергосбережения – реальный объем энергии, который возможно экономить при полном использовании имеющихся ресурсов с помощью проведения комплекса специальных мер.

Потери топливно-энергетических ресурсов – разность между общим количеством отпускаемых топливно-энергетических ресурсов и полезно использованных в энергетических установках.

Потери энергии коммерческие – разность между отпущенной и полезно потребляемой энергией, обусловленная несовершенством системы учета, неодновременностью и неточностью снятия показаний счетчиков, погрешностью используемых приборов учета, неравномерностью оплаты энергопотребления, наличием безучетных потребителей, хищениями.

Потери энергии расчетные – потери, обусловленные расходом энергии на нагрев, несовершенством термодинамических циклов и определяемые по известным физическим закономерностям и параметрам режимов работы.

Потери энергии фактические (отчетные потери) – разность между количеством энергии, отпущенной в сеть, и реализованной энергией, вычисленной по сумме оплаченных счетов к определенному моменту времени.

Потребитель (абонент) – физическое или юридическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью) и/или тепловой энергией (мощностью).

Потребительская корзина – расчетный ассортимент продуктов и других предметов потребления, применяемый для анализа как качественных показателей потребления (разнообразие, соответствующее уровню потребностей), так и количественных (величина потребительского бюджета) характеристик.

Потребительский (розничный) рынок электрической энергии (мощности) и тепловой энергии (мощности) – сфера купли-продажи электрической энергии (мощности) и тепловой энергии (мощности), осуществляемой между электроснабжающими организациями и потребителями.

Прирост – увеличение экономического показателя по отношению к его исходной величине, базовому значению.

Производитель энергии – коммерческая организация, независимо от организационно-правовой формы осуществляющая производство и от-

пуск электрической и тепловой энергии в сети для дальнейшего преобразования, передачи, распределения и продажи потребителям.

Размер платы за услуги – система ценовых ставок, по которым осуществляются расчеты за услуги, предоставляемые на оптовом и потребительском рынке услуг.

РАО ЕЭС России – Российское акционерное общество энергетики и электрификации, созданное на основании Указа Президента Российской Федерации, основными целями которого является обеспечение надежного функционирования и развития Единой электроэнергетической системы Российской Федерации (ЕЭС России).

Расточительный расход топливно-энергетических ресурсов – расход топливно-энергетических ресурсов с превышением строительных и технологических норм, несоблюдением действующих правил эксплуатации производственных и коммунально-бытовых объектов, в том числе при авариях, из-за бесхозяйственности, некомпетентности обслуживающего персонала и т. д.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов – достижение максимальной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии и одновременном снижении техногенного воздействия на окружающую среду.

Регион – территория субъекта Российской Федерации, установленная в соответствии с ее административным делением.

Региональная энергетическая комиссия (РЭК) – орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации, осуществляющий государственное регулирование тарифов на электрическую и тепловую энергию (услуги) на потребительском рынке энергии.

Региональный рынок энергии, электрической энергии (мощности), тепловой энергии (мощности) – сфера купли-продажи энергии, осуществляемой между энергоснабжающими организациями и потребите-

лями энергии на территории региона и регулируемая региональной энергетической комиссией.

Регулируемая деятельность – деятельность в сфере производства, передачи, распределения и продажи электрической энергии (мощности) и/или тепловой энергии (мощности), подлежащая государственному регулированию в соответствии с Законом РФ «О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации».

Регулируемая цена – цена товара (тариф), складывающаяся на товарном рынке при прямом государственном воздействии на эту цену, в том числе путем установления ее предельной или фиксированной величины.

Резерв (потенциал) энергосбережения – оцениваемая экспертами величина возможной экономии используемого топлива или энергии при реализации тех или иных мер энергосбережения.

Рыночная цена – цена товара, складывающаяся на товарном рынке без государственного воздействия на эту цену.

Сертификация продукции – деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям.

Стандартизация – деятельность по составлению и утверждению нормативных документов, устанавливающих комплекс норм, правил, положений и требований, обязательных при проектировании, изготовлении, строительстве, реконструкции, эксплуатации оборудования, технологических процессов и устройств.

Статистические наблюдения – планомерно организованный сбор данных социально-экономического характера, по которым рассчитываются обобщенные характеристики. Субъекты ФОРЭМ (федеральный оптовый рынок энергии и мощности) – юридические лица, осуществляющие куплю-продажу электрической энергии и мощности и/или предоставляющие услуги на ФОРЭМ.

Субъекты ФОРЭМ (федеральный оптовый рынок энергии и

мощности) – юридические лица, осуществляющие куплю-продажу электрической энергии и мощности и (или) предоставляющие услуги на ФОРЭМ.

Тарифы на электрическую и тепловую анергию – система основных ставок, по которым осуществляются расчеты за электрическую энергию (мощность) и тепловую энергию (мощность).

Топливно-энергетический ресурс (ТЭР) – совокупность всех природных преобразованных видов топлива и энергии, используемых в хозяйственной деятельности. Носитель энергии, который используется в настоящее время или может быть (полезно) использован в перспективе.

Удельный расход энергии (топлива) – показатель, определяемый отношением количества фактически израсходованного топлива (в натуральном выражении или в пересчете на условное) на количество фактически произведенной продукции данного вида.

Управляемость – процесс планирования, организации, мотивации, регулирования и контроля, необходимый для того, чтобы достичь целей, поставленных перед организацией.

Условное топливо – условно-натуральная единица, применяемая для соизмерения топлива различных видов с помощью коэффициента, равного отношению теплосодержания 1 кг топлива данного вида к теплосодержанию 1 кг условного топлива, которое равно 29,3076 Дж/кг (7000 ккал/кг).

Федеральная энергетическая комиссия (ФЭК) – федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий государственное регулирование тарифов на электрическую энергию на федеральном оптовом рынке энергии.

Федеральный (общероссийский) оптовый рынок электрической энергии и мощности (ФОРЭМ) – сфера купли-продажи электрической энергии (мощности), осуществляемой его субъектами в пределах Единой энергетической системы России.

Ценообразование на рынке энергии – формирование органами государственного регулирования и коммерческими организациями тарифов на электрическую и тепловую энергию и размеров платы за услуги.

Экономический эффект энергосбережения – система стоимостных показателей, отражающих прибыльность (или убыточность) мероприятий по энергосбережению.

Электрификация – преобразование энергоиспользующих технологических процессов с целью замены электрической энергией других видов энергии.

Электровооруженность труда – отношение количества электроэнергии, используемой в производственном процессе к численности производственных рабочих.

Электромагнитная совместимость – приспособленность электротехнических устройств, создающих электромагнитные поля, к совместной работе, при которой возникающие электромагнитные помехи не превышают установленного уровня и не мешают нормальной работе каждого из них.

Электроснабжение – совокупность мероприятий и инженерных сооружений по обеспечению потребителей электроэнергией.

Энергетическая (расходная) характеристика – характеристика расхода энергоносителя установки в зависимости от величины вторичной нагрузки.

Энергетическая безопасность – состояние защищенности государства, региона, предприятия и человека от угрозы недополучения энергии и энергетических ресурсов в необходимых для жизнедеятельности количестве и качестве для нынешнего и будущих поколений.

Энергетическая составляющая себестоимости продукции – доля себестоимости продукции предприятия, затрачиваемая на приобретение и использование топлива и энергоресурсов.

Энергетические обследования – процедура независимой проверки

предприятия с целью определения количественных и качественных показателей использования энергии и энергоресурсов и определение мер по повышению эффективности.

Энергетический кризис – структурный кризис, вызванный увеличивающимся дефицитом топливно-энергетических ресурсов.

Энергетический паспорт – официальный документ, утверждаемый территориальным органом государственного энергетического надзора, содержащий сведения о количестве и качестве потребления топлива, энергоресурсов и энергетических установках предприятия.

Энергетический ресурс – носитель энергии, который используется в настоящее время или может быть использован в перспективе.

Энергобаланс – баланс добычи, переработки, транспортировки, преобразования, распределения и потребления всех видов энергетических ресурсов и энергии.

Энерговооруженность труда – статистико-экономический показатель, характеризующийся отношением суммарных расходов всех видов энергии, использованных в производственном процессе к численности рабочих.

Энергоемкость продукции (удельный расход) – экономико-статистический показатель, определяемый отношением объема потребляемых энергоресурсов к произведенной продукции в натуральном выражении.

Энергосберегающая политика – административно-правовое и финансово-экономическое регулирование процессов эффективного использования и экономного расходования топливно-энергетических ресурсов.

Энергосбережение – реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических, информационных и экономических мер, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Энергоснабжающая организация – коммерческая организация, независимо от организационно-правовой формы осуществляющая продажу потребителям произведенной или купленной электрической и/или тепловой энергии.

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов – достижение технически возможной и экономически оправданной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии и одновременном снижении техногенного воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. Энергосбережение: Введение в проблему: учебное пособие для учащихся общеобразовательных и средних профессиональных учебных учреждений / Н.И.Данилов [и др.]. Екатеринбург: ИД «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 века / Н.И. Данилов. Екатеринбург: НП «ИЭЭТ», 2004. 48 с.; 2006. 63 с.
5. Энергетический анализ. Методика и базовое информационное обеспечение: учебное пособие / В.Г. Лисиенко [и др.]. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. 100 с.
6. Теплотехника: учебник 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. Бушуев В.В. Энергоэффективность как направление новой энергетической политики России / В.В. Бушуев // Энергосбережение. 1999. № 4. С. 32 – 35.
9. Щеклеин С.Е. Человек, энергия, природа / С.Е. Щеклеин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1998. 58 с.
10. Чоджой М.Х. Энергосбережение в промышленности / М.Х. Чоджой: пер. с англ. М.: Металлургия, 1982. 272 с.
11. Экономика в электроэнергетике и энергосбережение посредством рационального использования электротехнологий: учебное пособие для вузов. СПб.: Энергоатомиздат, СПб. отд., 1998. 368 с.
12. Данилов Н.И. Энергоэффективность – важнейший фактор устойчивого развития старопромышленного региона: учебное пособие / Н.И. Данилов, Ю.К. Столбов, Я.М. Щелоков. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 58 с.
13. Медоуз Д.Х. За пределами роста: учебное пособие / Д.Х. Медоуз, Д.Л. Медоуз, Й. Рандерс М.: Прогресс, 1994. 304 с.
14. Лисиенко В.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: справочное издание: В 3 кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплотехник, 2003. Кн. 3. 592 с.

15. Данилов Н.И. Энциклопедия энергосбережения / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. Екатеринбург: ИД «Сократ», 2002. 352 с.; 2004. 368 с.
16. Лисиенко В.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: справочное издание: В 3 кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплотехник, 2003. Кн. 1. 608 с.
17. ГОСТ Р 51749-2001. Энергосбережение. Энергопотребляющее оборудование общепромышленного применения. Виды. Типы. Группы. Показатели энергетической эффективности. Идентификация. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 27 с.
18. ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 21 с.
19. Данилов Н.И. Энергоемкость валового регионального продукта Свердловской области: Состояние и проблемы / Н.И. Данилов, Ю.К. Столбов, Я.М. Щелоков // Вестник УГТУ-УПИ: Теплоэнергетика. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. Вып. 3 (33). С. 357 – 364.
20. Энергетические обследования – способ реального энергосбережения и получения дополнительной прибыли: методическое пособие (нормативные документы, информационно-справочные материалы) / под ред. Т.Е. Троицкого-Маркова и др. М.: Спорт и культура, 2002. 209 с.
21. Россель Э.Э. Семь шагов к теплу и свету. Задачи и приоритеты региональной энергетической политики / Э.Э. Россель. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. 91 с.
22. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали / В.А. Кудрин. М.: Металлургия, 1992. 334 с.
23. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: справочное издание: В 2 кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, В.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплотехник, 2002. Кн. 1. 688 с.
24. Р 50.1.026-2000 Рекомендации по стандартизации. Энергосбережение. Методы подтверждения показателей энергетической эффективности. Общие требования. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 12 с.
25. Степанов Л.В. Оценка рисков и затрат при выборе и эксплуатации оборудования узлов учета тепловой энергии / Л.В. Степанов // Энергетика региона. 1999. № 8. С. 14 – 16.
26. ПР 50.2.019-96. Количество природного газа. Методика выполнения измерений при помощи турбинных и ротационных счетчиков. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. 28 с.
27. Правила учета природного газа. М.: Минтопэнерго России, 1996. 7 с.
28. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. М.: Минтопэнерго России, 1995. 68 с.

29. Гуртовцев А.П. Комплексная автоматизация учета и контроля электроэнергии и энергоносителей на промышленных предприятиях и их хозяйственных объектах. Гл. 1. Энергоучет: вчера, сегодня, завтра / А.П. Гуртовцев // Промышленная энергетика. 2000. № 4. С. 20 – 27.
30. Булаев Ю.В. Комплексная автоматизация энергоснабжения предприятия / Ю.В. Булаев, В.А. Табаков, В.В. Еськин // Промышленная энергетика. 2001. № 2. С. 11 – 15.
31. ГОСТ 8.437-81. Системы информационно-измерительные. М.: Изд-во стандартов, 1981.
32. ГОСТ Р 51649-2000. Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. Общие технические условия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 16 с.
33. ГОСТ Р 8.591-2002. Теплосчетчики двухканальные для водяных систем теплоснабжения. Нормирование пределов допускаемой погрешности при измерениях потребленной абонентами тепловой энергии. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
34. ГОСТ Р 8.592-2002. Тепловая энергия, потребляемая абонентами водяных систем теплоснабжения. Типовая методика выполнения измерений. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 5 с.
35. Малафеев В.А. Что продается в системах теплоснабжения и как правильно их измерить? / В.А. Малафеев // Энергосбережение. 2003. № 5. С. 6 – 12.
36. Никифоров Г.В. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве / Г.В. Никифоров, В.К. Олейников, Б.И. Заславец М.: Энергоатомиздат, 2003. 480 с.
37. ГОСТ Р 51379-99. Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. 18 с.
38. Данилов Н.И. Энергосбережение для всех / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. Екатеринбург: Энерго-Пресс, 2003. 132 с.
39. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России. ФГУП ЦПП, 2004. 36 с.
40. Справочное пособие по светотехнике. Ч. 2. Осветительные приборы. М.: Компания «Точка опоры», 1999. 90 с.
41. Кравченко Е.В. Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) / Е.В. Кравченко, И.В. Янцевич // Основы энергосбережения: курс лекций / под ред. Н.Г. Хутской. Минск: Тэхналогія, 1999. С. 47 – 53.
42. Кравченко Е.В. Энергосберегающие технологии на основе использования ВЭР / Е.В. Кравченко, И.В. Янцевич // Основы энергосбережения: курс лекций; под ред. Н.Г. Хутской. Минск: Тэхналогія, 1999. С. 54 – 63.
43. Поспелова Т.Г. Основы энергосбережения / Т.Г. Поспелова. Минск: УП «Технопринт», 2000. 253 с.

44. Россель Э.Э. Вторичные энергетические ресурсы / Э.Э. Россель. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 70 с.
45. Старк С.Б. Теплоэнергетическое хозяйство металлургических заводов / С.Б. Старк. М.: Металлургия, 1966. 311 с.
46. Вагин Г.Я. Экономия энергии в промышленности / Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов. Н. Новгород: НГТУ, 1998. 220 с.
47. Кричевцов Е.А. Теплоэнергетика сталеплавильного производства / Е.А. Кричевцов, Я.М. Щелоков. М.: Металлургия, 1986. 104 с.
48. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов / Я.М. Щелоков [и др.]. М.: Металлургия, 1990. 149 с. (Сер. «Экономия топлива и энергии»)
49. Драгун В.Л. Тепловые насосы. В мире тепла / В.Л. Драгун, С.В. Конев. Минск: Наука и техника, 1991. 100 с.
50. Северянин В.С. Основы энергосбережения: курс лекций / В.С. Северянин, И.А. Черников, М.Г. Горбачева. Брест: БГТУ, 2003. 54 с.
51. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: справочное издание: В 2 кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплоэнергетик, 2002. Кн. 2. 768 с.
52. Когенерация [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.cogeneration.ru
53. Энергосбережение и повышение эффективности использования энергоресурсов в зданиях и сооружениях: учебное пособие / под общ. ред. А.П. Баскакова [и др.]. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 326 с.
54. Основные концептуальные положения энергосбережения на предприятиях черной металлургии / А.А. Злобин [и др.]. // Энергетическая политика. 2003. № 4. С. 29 – 35.
55. Ивановский М.Н. Физические основы тепловых труб / М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, И.В. Ягодин. М.: Атомиздат, 1978.
56. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях: справочно-методическое пособие. / Г.Я. Вагин [и др.]. Н.Новгород: НГТУ НИЦЭ, 2001. 296 с.
57. Концепция схемы развития и размещения производительных сил Свердловской области на период до 2015 года / Правительство Свердловской области, Министерство экономики и труда Свердловской области. Екатеринбург, 2000. 48 с.
58. ГОСТ Р 51541-99. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие показатели. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. 8 с.
59. Данилов Н.И. Анализ динамической энергоемкости (индекса терморецессии) валового внутреннего продукта и продукции предприятий / Н.И. Данилов, В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 6. С. 8 – 10.

60. Динамика энергоемкости экономики России на фоне глобальных тенденций / Ю.Д. Кононов [и др.]. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2000. 46 с.
61. Башмаков И. ВВП не удвоить / Игорь Башмаков // Энергия России. 2004. № 9. С. 25 – 27.
62. Динамика энергоемкости и душевого энергопотребления в России на фоне глобальных тенденций / Ю.Д. Кононов [и др.] // Теплоэнергетика. 2002. № 1. С. 9 - 13.
63. Бушуев В.В. Энергоэффективность и экономика России / В.В. Бушуев, А.А. Троицкий // Энергия: экономика, техника, экология. 2004. № 5. С. 10 – 19.
64. Основные тенденции развития мировой энергетики на перспективу до 2020 г. (отраслевой прогноз). М.: ИМЭМО РАН, 2002. 79 с.
65. Данилов Н.И. Экологические проблемы использования топлива / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 109 с.
66. Литвак В.В. Региональный вектор энергосбережения / В.В. Литвак, В.А. Силич, М.И. Яворский. Томск: Региональный центр управления энергосбережением, 1999. 320 с.
67. Бегалов В.А. Вопросы энергоэффективности в системах освещения: учебное пособие / В.А. Бегалов, Р.В. Молотилов, В.С. Проскуряков. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 104 с.
68. Свентицкий И.И. Проблемы термодинамики и нетрадиционная энергетика / И.И. Свентицкий // ТЭК. 2004. № 3. С. 144 – 146.
69. Лапонш Б. Российско-европейский диалог по вопросам энергетики и энергетическая стратегия России – определяющая роль энергосбережения / Б. Лапонш, Т. Филимон, В. Жгенти // Теплоэнергетика. 2004. № 7. С. 64 – 73.
70. Демин В.Д. Оценка положительных экологических последствий «газовой паузы» в электроэнергетике России / В.Д. Демин, Д.А. Крылов // Энергонадзор и энергоэффективность. 2004. № 2.
71. Данилов Н.И. Сотовая энергетика: конспект лекций / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков; под общ. ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 32 с.
72. Данилов Н.И. Энергосбережение в жилищно-коммунальном комплексе: учебное пособие / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков, В.Ю. Балдин; под ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 102 с.
73. Данилов Н.И. Газосбережение: аспекты и технологии / Н.И. Данилов, Д.Д. Гайдт, А.В. Наумейко. Екатеринбург: Уралтрансгаз, 2005. 160 с.
74. Щелоков Я.М. Энергетика как зеркало экономики / Я.М. Щелоков // Энергонадзор и энергобезопасность. 2006. № 1. С. 50-51.
75. Научно-методические принципы энергосбережения и энергоаудита: научное и учебно-методическое пособие: в 3 т. Т. 1. Научно-методические принципы энергоаудита и энергоменеджмента / Т.Е. Троицкий-Марков [и др.]. М.: Наука, 2005. 544 с.

Учебное издание

Николай Игоревич Данилов
Яков Митрофанович Щелоков

Основы энергосбережения

Редакторы *В.П. Вовчек*

И.Г. Южакова

Компьютерный набор и верстка *С.А. Цветковой, В.Ю. Балдина*

PDF-версия текста *В.Ю. Балдина*

ИД № 06263 от 12.11.2001

Подписано в печать 01.08.2006 Формат 60x84 1/16
Бумага писчая Печать офсетная Усл. печ. л. 31,62
Уч.-изд. л. 29,3 Тираж 200 (доп.) Заказ Цена «С»

Редакционно-издательский отдел ГОУ ВПО УГТУ-УПИ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Ризография ГОУ ВПО УГТУ-УПИ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19