

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

Л. М. ПАРФЕНОВА

# ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальностей 1-70 02 01, 1-70 02 02  
и слушателей ИПК УО «ПГУ» специальности 1-70 02 71

Новополоцк

ПГУ

2009

УДК 620.97(075.8)  
ББК 31я73  
П18

Рекомендовано к изданию методической комиссией  
инженерно-строительного факультета в качестве  
учебно-методического комплекса (протокол № 5 от 26.02.2009)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

начальник ОГУПП Новополоцкого филиала  
«Институт Витебскгражданпроект» Н. М. ДРАГУНОВ;  
канд. техн. наук, доц., декан инженерно-строительного  
факультета УО «ПГУ» А.А. БАКАТОВИЧ

**Парфенова, Л. М.**

П18 Основы энергосбережения : учеб.-метод. комплекс для студентов  
спец. 1-70 02 01, 1-70 02 02 и слушателей ИПК УО «ПГУ» спец. 1-70 02 71 /  
Л. М. Парфенова. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 200 с.  
ISBN 975-985-418-816-4.

Приведены организационно-правовые основы энергосбережения, охарактеризованы энергетические ресурсы современного производства, традиционная и нетрадиционная энергетика, экологические аспекты энергосбережения. Рассмотрены основные направления модернизации жилого фонда. Большое внимание уделено вопросам, связанным с энергосбережением в производстве строительных материалов и изделий, выполнением строительно-монтажных работ, проектированием зданий и сооружений. Рассмотрено строительство энергоэффективных зданий.

Предназначен для студентов вузов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» и слушателей ИПК специальности 1-70 02 71 «Промышленное и гражданское строительство». Может быть полезен специалистам строительных организаций.

**УДК 620.97(075.8)**  
**ББК 31я73**

**ISBN 975-985-418-816-4**

© Парфенова Л. М., 2009  
© УО «Полоцкий государственный университет», 2009

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
Учебно-методическая карта .....	7
Рейтинговая система контроля .....	12
<b>1. Организационно-правовые основы энергосбережения .....</b>	<b>13</b>
1.1. Основные направления энергетической политики Республики Беларусь .....	13
1.2. Закон «Об энергосбережении» .....	16
1.3. Общая характеристика Республиканской программы «Энергосбережение» .....	18
1.4. Государственный надзор .....	23
1.5. Энергоаудит и энергоменеджмент .....	25
<b>2. Общая характеристика современного энергетического производства .....</b>	<b>33</b>
2.1. Энергетические ресурсы современного производства .....	33
2.1.1. Понятие энергии. Основные виды энергии .....	33
2.1.2. Первичные и вторичные энергетические ресурсы .....	35
2.1.3. Местные топливно-энергетические ресурсы .....	39
2.2. Традиционная энергетика .....	42
2.2.1. Теплоэлектростанции и теплоэлектроцентрали .....	43
2.2.2. Атомные электростанции .....	45
2.2.3. Потребление энергии и эффективность энергоустановок .....	55
2.3. Нетрадиционная энергетика .....	57
2.3.1. Биоэнергетика .....	57
2.3.2. Гидроэнергетика .....	65
2.3.3. Ветроэнергетика .....	73
2.4.4. Гелиоэнергетика .....	80
2.4. Экологические аспекты энергосбережения .....	89
2.4.1. Взаимосвязь экологии и энергосбережения .....	89
2.4.2. Невозобновляемые источники энергии и окружающая среда .....	92
2.4.3. Возобновляемые источники энергии и окружающая среда .....	96
<b>3. Энергосбережение при эксплуатации зданий .....</b>	<b>99</b>
3.1. Транспортировка тепловой энергии .....	99
3.2. Поквартирное отопление .....	100
3.3. Тепловые насосы .....	104
3.4. Установка приборов учета и регуляторов .....	110
3.5. Утепление наружных стен зданий .....	113
3.6. Стеклопакеты .....	117
3.7. Теплозащитные шторы и экраны .....	122
3.8. Энергоэффективные источники освещения .....	126
3.9. Электробытовые приборы и их эффективное использование .....	132
<b>4. Энергосбережение в строительстве .....</b>	<b>135</b>
4.1. Структура энергопотребления строительного комплекса .....	135
4.2. Производство строительных материалов .....	136
4.2.1. Энергоэффективные технологии производства цемента .....	136
4.2.2. Энергоэффективные технологии производства извести .....	141
4.2.3. Энергосбережение при производстве кирпича .....	145

4.2.4. Энергосбережение при производстве стекла .....	148
4.2.5. Использование вторичных энергоресурсов на предприятиях стройматериалов .....	151
4.2.6. Энергообеспечение предприятий на базе когенерационных установок .....	153
4.3. Сбережение тепловой и электрической энергии при производстве бетона и железобетона .....	156
4.4. Проектирование зданий и сооружений .....	167
4.4.1. Экспертиза энергетической эффективности проектных решений .....	167
4.4.2. Энергосберегающие мероприятия при разработке проектных решений .....	170
4.4.3. Энергоэффективные конструктивные системы .....	172
4.5. Производство строительно-монтажных работ .....	176
4.6. Энергетическое обследование объектов строительства .....	180
4.7. Энергоэффективные здания .....	183
4.7.1. Девятиэтажный жилой дом в микрорайоне Красный Бор города Минска .....	183
4.7.2. Экодом из соломенных блоков .....	185
4.7.3. Строительство энергоэффективных районов в Финляндии .....	187
Вопросы к контрольным работам .....	193
Литература .....	197

## ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение является приоритетным направлением государственной политики в Республике Беларусь. Современный специалист должен владеть основными приемами по выявлению и внедрению новых энергоэффективных технологий при строительстве и эксплуатации зданий, а также знать нетрадиционные и экологически чистые энергоисточники.

Учебно-методический комплекс (УМК) по дисциплине «Основы энергосбережения» содержит курс лекций, учебно-методическую карту дисциплины, указания по оценке успешности изучения с использованием рейтинговой системы контроля.

В УМК приведены основные понятия о разновидностях энергии и энергетических ресурсах, дана общая характеристика традиционной и нетрадиционной энергетики. Показаны перспективные направления развития энергетического комплекса.

Большое внимание уделено энергосбережению при эксплуатации зданий. Рассмотрены основные направления модернизации жилого фонда: устройство систем утепления наружных стен; установка приборов учета и регулирования тепла, установка стеклопакетов, применение тепловых насосов. Представлен материал по энергоэффективным источникам освещения и эффективному использованию электробытовых приборов.

Отдельная глава посвящена энергосбережению в строительстве. Предприятиями Министерства архитектуры и строительства потребляется порядка 6 % энергоресурсов республики. Особо энергозатратными являются предприятия строительных материалов. Поэтому материал по энергосберегающим технологиям производства строительных материалов: цемента, извести, кирпича, стекла должен изучаться студентами, что и нашло отражение в УМК. Показано использование когенерационных установок и вторичных энергоресурсов на предприятиях стройматериалов.

Представлены основные мероприятия по энергосбережению при производстве сборного бетона и железобетона. Отражены вопросы энергосбережения при проектировании зданий, производстве строительномонтажных работ. Представлен отечественный и зарубежный опыт строительства энергоэффективных зданий.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Основы энергосбережения» предназначен для студентов 4 курса (8 семестр) очной формы обучения специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» и

5 курса (9 семестр) заочной формы обучения, и слушателей переподготовки специальности 1-70 02 71 «Промышленное и гражданское строительство».

Полный объем лекционной нагрузки по изучаемой дисциплине составляет 32 часа. Учебно-методическим комплексом предусмотрено сокращение аудиторной лекционной нагрузки на 50 %, при этом 16 часов переносится на контролируемую самостоятельную работу студентов. Распределение часов представлено в учебно-методической карте. Форма отчетности по дисциплине – зачет.

При написании УМК использованы материалы, изложенные в учебниках, учебных пособиях, нормативных документах, инструкциях, научных статьях, материалах научно-практических конференций. Настоящий УМК отражает опыт преподавания данной дисциплины, накопленный на кафедре «Строительное производство» Полоцкого государственного университета.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов					Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	управляемая (контролируемая) самостоятельная работа студента	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>1.</b>	<b>Организационно-правовые основы энергосбережения (2 ч)</b>	<b>1</b>			<b>1</b>				
	1. Основные направления энергетической политики РБ. 2. Общая характеристика Республиканской программы «Энергосбережение». 3. Государственный надзор 4. Энергоаудит и энергоменеджмент. 5. Закон об энергосбережении	1				Компьютерная презентация	[22], [43], [44]		
<b>2.</b>	<b>Общая характеристика современного энергетического производства (8 ч)</b>	<b>4</b>			<b>4</b>	УМК	[21], [44]	устный опрос	
<b>2.1.</b>	<b>Энергетические ресурсы современного производства</b>	1				Компьютерная презентация	[16], [22], [44]		
	1. Понятие энергии. Основные виды энергии. 2. Первичные и вторичные энергетические ресурсы 3. Местные топливно-энергетические ресурсы				0,5	УМК	[41], [44]	устный опрос	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>2.2.</b>	<p><b>Традиционная энергетика</b></p> <p>1. Атомные электростанции. Классификация и принцип действия АЭС. Проблемные задачи атомной энергетики. АЭС и окружающая среда. Перспективы развития атомной энергетики в мире</p> <p>2. Теплоэлектростанции и теплоэлектростанции.</p> <p>3. Потребление энергии и эффективность энергоустановок</p>	1			0,5	УМК	[22], [44]	устный опрос
<b>2.3.</b>	<b>Нетрадиционная энергетика</b>							
<b>2.3.1.</b>	<p><b>Биоэнергетика и гидроэнергетика</b></p> <p>1. Потенциал использования биомассы в Беларуси: биогаз из отходов животноводства, отходы растениеводства, дрова и древесные отходы, фитомасса.</p> <p>2. Гидроэнергетический потенциал Беларуси. Достижения гидроэнергетики Беларуси.</p> <p>3. Развитие гидроэнергетики в мире.</p>	1				Компьютерная презентация	[26], [27], [41], [42]	
	<p>4. Методы конверсии биомассы: термохимический, биохимический, агрохимический.</p> <p>5. Понятие мини- и малые ГЭС. Принцип действия ГЭС.</p> <p>6. Экологическая безопасность объектов гидроэнергетики</p>				1	УМК	[16], [32], [44]	устный опрос
<b>2.3.2.</b>	<p><b>Ветроэнергетика и гелиоэнергетика</b></p> <p>1. Ветроэнергетические ресурсы территории Беларуси.</p> <p>2. Перспективы развития ветроэнергетики в мире.</p>	1				Компьютерная презентация	[22], [25], [28], [33]	



1	2	3	4	5	6	7	8	9
	3. Использование энергии солнца для горячего водоснабжения, отопления, выработки электроэнергии. 4. Солнечные аэроэлектростанции							
	5. Основные элементы и принцип действия ВЭУ. 6. История ветроэнергетики				1	УМК	[22], [44]	устный опрос
<b>2.4.</b>	<b>Экологические аспекты энергосбережения.</b> 1. Взаимосвязь экологии и энергосбережения. 2. Невозобновляемые источники энергии и окружающая среда. 3. Возобновляемые источники энергии и окружающая среда				1	УМК	[44]	Контрольная работа по темам 1, 2
<b>3.</b>	<b>Энергосбережение при эксплуатации зданий (6 ч)</b>	<b>3</b>			<b>3</b>			
<b>3.1.</b>	1. Тепловые насосы: принцип действия, источники тепла, варианты установки и преимущества. 2. Установка приборов учета и регуляторов: водо- и теплосчетчики, показатели экономии, принцип работы	1				Компьютерная презентация	[16], [34]	
	3. Транспортировка тепловой энергии: предизолированные трубы, мероприятия по уменьшению потерь теплоты при транспортировке. 4. Поквартирное отопление: основные элементы, преимущества, показатели эффективности				1	УМК	[23], [44]	устный опрос
<b>3.2.</b>	1. Утепление наружных стен зданий: требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций, системы утепления зданий, теплоизоляционные материалы.	2				Компьютерная презентация	[11], [17], [36]	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2. Стеклопакеты: заполнение межстекольного пространства аргоном, криптоном, коэффициент сопротивления теплопередаче однокамерных и двухкамерных стеклопакетов, низкоэмиссионные стекла и их характеристики 3. Теплозащитные шторы и экраны: наружный и внутренний экраны, влияние зашторивания и экранирования окон на теплопотери, экран в межстекольном пространстве				1	УМК	[35]	устный опрос
<b>3.3.</b>	1. Энергоэффективные источники освещения: основные характеристики освещения, люминесцентные лампы, галогенные лампы, характеристики источников освещения. 2. Электробытовые приборы и их эффективное использование: потребление энергии электробытовыми приборами, меры по рациональному использованию электроэнергии в быту				1	УМК	[22], [44]	Контрольная работа по теме 3
<b>4.</b>	<b>Энергосбережение в строительстве (16 ч)</b>	<b>8</b>			<b>8</b>			
<b>4.1.</b>	<b>Структура энергопотребления строительных материалов</b> 1. Энергоэффективные технологии производства цемента. 2. Энергоэффективные технологии производства извести. 3. Энергосбережение при производстве кирпича. 4. Энергообеспечение предприятий на базе когенерационных установок 5. Энергосбережение при производстве стекла. 6. Использование вторичных энергоресурсов на предприятиях стройматериалов	2				Компьютерная презентация	[5], [15], [38]	
					2	УМК	[13], [19]	устный опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>4.2.</b>	<b>Сбережение тепловой и электрической энергии при производстве бетона и железобетона</b> 1. Прямые и косвенные затраты. 2. Установки для тепловой обработки бетона. 3. Снижение расхода цемента. 4. Оптимизация режимов твердения. 5. Химизация бетона	2				Компьютерная презентация	[24], [29], [37], [39], [40]	
	6. Энергетическая эффективность суперпластификаторов. 7. Современные химические добавки. Свойства. Область применения				2	УМК	[4], [40]	устный опрос
<b>4.3.</b>	<b>Проектирование зданий и сооружений</b> 1. Энергосберегающие мероприятия при разработке проектных решений. 2. Энергоэффективные конструктивные системы 3. Экспертиза энергетической эффективности проектных решений	1				Компьютерная презентация	[18], [31], [36]	
					1	УМК	[20]	устный опрос
<b>4.4.</b>	<b>Производство строительно-монтажных работ</b> 1. Мероприятия по снижению энергозатрат при производстве строительно-монтажных работ 2. Энергоэффективность зимних методов бетонирования 3. Энергетическое обследование объектов строительства	1				Компьютерная презентация	[14], [30]	
					1	УМК	[8], [10]	устный опрос
<b>4.5.</b>	<b>Энергоэффективные здания</b> 1. Девятиэтажный жилой дом в микрорайоне Красный Бор г. Минска. 2. Экодом из соломенных блоков. 3. Опыт строительства энергоэффективных районов в Финляндии 4. Энергоэкономичные ширококорпусные жилые дома. 5. Высотные энергоэффективные здания	2				Компьютерная презентация	[9], [32], [42]	
					2	Компьютерная презентация	[6], [32]	Контрольная работа по теме 4

## РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ

Для оценки успешности обучения студентов дисциплине «Основы энергосбережения» используется рейтинговая система контроля в соответствии с «Положением о рейтинговой системе контроля успешности обучения студентов в Полоцком государственном университете» (автор Л. С. Турищев).

В соответствии с системой рейтингового контроля успешность обучения складывается из семестровой и итоговой составляющих. Семестровая составляющая включает в себя:

- отношение студента к изучаемой дисциплине (отсутствие пропусков лекционных занятий без уважительных причин, активная работа на занятиях). Добросовестное отношение студента оценивается в 100 баллов;

- результаты трех письменных контрольных работ. Наивысшая оценка по контрольной работе составляет 300 баллов. Выполнение контрольной работы считается успешным, если студент ответил верно на 70 % и более вопросов;

- творческая активность при изучении курса (наличие научных публикаций и патентов, имеющих прямое отношение к изучаемой дисциплине; выполнение творческих заданий; изучение внепрограммных материалов и составление по ним рефератов; выполнение научно-исследовательской работы, имеющей прямое отношение к дисциплине, и доклад о полученных результатах на лекции). Наивысшая оценка за творческую активность составляет 1000 баллов. Конкретная оценка от уровня творческих достижений устанавливается преподавателем, руководившим творческой деятельностью студента.

Сумма баллов, заработанных студентом в течение семестра, образует рейтинг успешности обучения данной дисциплине. Если рейтинг составляет 600 баллов и более, изучение дисциплины считается успешным и студенту выставляется зачет. Если после изучения дисциплины в семестре набранное количество баллов менее 600, то студент считается не выполнившим полностью учебный план по дисциплине. Для получения зачета студент пишет итоговую контрольную работу.

# 1. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

## 1.1. Основные направления энергетической политики Республики Беларусь

Формирование основ энергетической стратегии в Беларуси целенаправленно ведется с 1992 г., когда правительство республики одобрило «Энергетическую программу Республики Беларусь на период до 2010 года».

Новая редакция «Основных направлений» формирует оптимальную в изменившихся условиях энергетическую политику как органическую составляющую экономической политики республики в целом. Учитывая высокую инерционность и капиталоемкость топливно-энергетического комплекса (ТЭК), время действия документа устанавливается до 2015 г.

**Основная цель** энергетической политики республики – определение путей и формирование механизмов оптимального развития и функционирования отраслей ТЭК, а также техническая реализация надежного и эффективного энергообеспечения всех отраслей экономики и населения, создание условий для производства конкурентоспособной продукции и достижения уровня жизни населения высокоразвитых европейских государств.

Главным средством достижения указанной цели должно стать формирование цивилизованного энергетического рынка и экономических взаимоотношений его субъектов с государством. Государственное регулирование этих процессов будет осуществляться с помощью:

- ценовой и налоговой политики, направленной на регулирование уровней и соотношений внутренних цен на топливо и энергию, обеспечивающих как потребности экономики в них и конкурентоспособность отечественных товаропроизводителей, так и финансовую устойчивость отраслей ТЭК; на стимулирование инновационной, инвестиционной и энергосберегающей деятельности хозяйствующих субъектов;

- институционально-организационных преобразований в ТЭК при одновременном совершенствовании методов антимонопольного контроля цен и регулирования естественных монополий;

- совершенствования законодательства и нормативно-правовой базы функционирования энергетического сектора, стандартизации и сертификации, лицензирования деятельности субъектов энергетического рынка.

Основным механизмом достижения целей и задач энергетической политики является система нормативно-правовых актов, реализуемая соответствующими органами власти.

В новой редакции энергетической программы представлены два варианта функционирования народного хозяйства – в оптимальном режиме и на случай непредвиденных обстоятельств.

По прогнозу валовое потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в 2010 г. достигнет в Беларуси 39 млн т у.т. (I вариант) или 37,2 млн т у.т. (II вариант) при темпах роста ВВП соответственно 167,3 или 146,6 %. Для сравнения: в 1990 г. было «востребовано» 55,3 млн т у.т. Электроэнергии будет использовано 43 или 39,5 млрд кВт/ч, тепловой энергии – 83 или 80 млн Гкал, котельно-печного топлива – 34 или 32,5 млн т у.т. Единица измерения у.т. – условное топливо, принята для сопоставления различных видов топлива (подробнее в п. 2.1).

Таким образом, намечено сократить объем импорта энергоресурсов.

В ближайшей перспективе импортировать газ Беларусь намерена не только из России, но и из Туркменистана. Согласно расчетам правительственных аналитиков, проект газопровода из этой страны по схеме Узбекистан – Казахстан – Россия – Украина технически может быть реализован в короткие сроки и при относительно небольших инвестициях.

В области нефтеобеспечения, в качестве альтернативных, предлагаются два направления: поставка сравнительно дешевой ближневосточной нефти через порты на Черном и Балтийском морях. Правда, по затратам оба они почти вдвое дороже существующей схемы поставок.

Потребителям угля предложено постепенно заменять его местными видами топлива. В 2010 г. в Беларуси планируется добыть 1,29 млн т собственной нефти, 210 млн м<sup>3</sup> попутного газа, 1 млн т у.т. торфа. До 1,9 – 2 млн т у.т. (в сравнении с нынешними 1,3 млн т) возрастет к 2015 г. заготовка дров.

Признано целесообразным возведение на небольших реках мини-ГЭС суммарной мощностью 250 МВт, которые могли бы вырабатывать 0,8 – 0,9 млрд кВт/ч гидроэнергии, что равнозначно экономии 250 тыс. т у.т. Еще 100 – 120 тыс. т у.т. предполагается сберечь за счет более широкого вовлечения в оборот твердых бытовых отходов.

В 17,9 млн Гкал в год оценивается потенциал вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) (пока используется только 2,7 млн Гкал), хотя технические возможности позволяют привлекать до 10 млн Гкал в год. Предстоит разработать механизмы экономической поддержки подобных мероприятий – создание фондов стимулирования, энергосбережения, использование определенной части (до 50 %) сэкономленных за счет этих мероприятий средств на премирование сотрудников и т.д.

Будет продолжена модернизация отечественных НПЗ с целью увеличения не только объемов переработки (с 14,3 до 16,8 млн т в 2010 г.), но и ее глубины (до 80 %) с получением высококачественных бензинов, дизельного топлива и других продуктов.

Продолжится строительство газораспределительных станций и газопроводов в Витебской и на севере Минской областей, на Полесье Беларуси.

Жилой фонд страны предполагается целиком перевести со сжиженного на природный газ, завершить сооружение Прибугского подземного газохранилища емкостью 1,35 млрд м<sup>3</sup> и начать строительство Василевичского (3,1 млрд м<sup>3</sup>).

В электроэнергетике ситуация следующая. Как отмечалось ранее, установленная мощность всех энергоисточников в Беларуси сейчас достигла 7,818 млн МВт. К 2010 г. потребуется 8,3 – 9 млн МВт.

Но и в этой отрасли ставка сделана на постепенное снижение удельного веса импорта: не исключено, что Игналинская АЭС в Литве будет закрыта по требованию ЕС, а экспорт электроэнергии из России упадет в связи с приростом собственного потребления.

Одной из важнейших задач нынешней энергетической политики страны остается энергосбережение. За счет этого фактора энергоемкость ВВП к 2015 г. должна быть снижена на 40 – 45 %.

Планируется строить ТЭЦ с использованием передовых газотурбинных технологий, которые при одном и том же отпуске тепла обеспечивают многократный (до 4 раз) по сравнению с паротурбинными установками рост выработки электроэнергии.

Готовится оснащение газовыми турбинами существующих энергоблоков на Березовской ГРЭС, развитие газотурбинных и парогазовых технологий на Минских ТЭЦ-3 и 4, Гомельской, Гродненской ТЭЦ и др.

По мнению специалистов, в Беларуси завышена роль котельных, находящихся в зоне действия ТЭЦ и прилегающих к ней коммуникаций. Коэффициент полезного действия у таких котельных достигает 94 % . И хотя потребитель, построивший такую котельную, оказывается в выигрыше, этот выигрыш достигается исключительно за счет перекрестного субсидирования.

В программе предусмотрена выработка эффективных мер по правовому обеспечению энергосбережения по примеру Дании и Финляндии, которые сегодня являются лидерами в вопросах теплофикации. Согласно законодательству этих стран, если потребитель строит частную котельную в районе теплосети, он платит огромный налог. Разработчики программы считают, что и в Беларуси нужно принять налог на топливо, потребляемое для производства тепловой энергии.

Программа предусматривает также резкое увеличение объемов потребления дров. Отечественная, промышленность выпускает котлы, которые могут работать на щепе, опилках и других отходах. Есть даже планы выращивания в стране специальных, с быстрым набором массы, деревьев.

Для полной реализации программы до 2015 г. только в электроэнергетику страны требуется вложить 4 – 6,9 млрд долл. США, еще 3 – 3,6 млрд долл. США – на развитие нетрадиционных источников энергии, 1 млрд долл. США – в систему добычи нефти, в нефтепереработку и снабжение нефтепродуктами, 830 млн долл. США в течение каждой пятилетки – на развитие газоснабжения, 162 млн долл. США – на обеспечение ТЭК твердыми видами топлива. Основным источником капиталовложений должны стать собственные средства предприятий ТЭК, инновационные фонды, кредиты, займы и привлеченные средства, в том числе иностранных инвесторов.

## 1.2. Закон «Об энергосбережении»

Закон Республики Беларусь № 190-3 «Об энергосбережении» принят Национальным собранием 19 июня 1998 г. вступил в действие с 15 июля 1998 г. [21]. Настоящим законом регулируются отношения, возникающие в процессе деятельности юридических и физических лиц в сфере энергосбережения в целях повышения эффективности использования ТЭР, и устанавливаются правовые основы этих отношений.

Законом определено понятие энергосбережения: *энергосбережение – организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода (потерь) топливно-энергетических ресурсов в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.*

Основные принципы государственного управления в сфере энергосбережения:

- осуществление государственного надзора за рациональным использованием ТЭР;
- разработка государственных и межгосударственных научно-технических, республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения и их финансирование;
- приведение нормативных документов в соответствие с требованием снижения энергоемкости материального производства, сферы услуг и быта;



– создание системы финансово-экономических механизмов, обеспечивающих экономическую заинтересованность производителей и пользователей в эффективном использовании ТЭР, вовлечении в топливно-энергетический баланс нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также в инвестировании средств в энергосберегающие мероприятия;

– повышение уровня самообеспечения республики местными ТЭР;

– осуществление государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений;

– создание и широкое распространение экологически чистых и безопасных энергетических технологий, обеспечение безопасного для населения состояния окружающей среды в процессе использования ТЭР;

– реализация демонстрационных проектов высокой энергетической эффективности;

– информационное обеспечение деятельности по энергосбережению и пропаганда передового отечественного и зарубежного опыта в этой области;

– обучение производственного персонала и населения методам экономии топлива и энергии;

– создание других экономических, информационных, организационных условий для реализации принципов энергосбережения.

В законе отражены основные направления энергосбережения, регламентируются мероприятия по его проведению. Так, например, Республика Беларусь принимает участие в международном сотрудничестве в сфере энергосбережения. Основные направления международного сотрудничества:

– взаимовыгодный обмен с зарубежными и международными организациями энергоэффективными технологиями;

– участие Республики Беларусь в реализации международных проектов в области энергосбережения;

– приведение показателей энергоэффективности производства Республики Беларусь в соответствие с требованиями международных стандартов.

Для финансирования мероприятий по энергосбережению в республике создан фонд «Энергосбережение». Его средства создаются за счет поступлений в виде:

▪ платежей за перерасход топлива, электрической и тепловой энергии свыше установленных норм потребления;

▪ экономических санкций:

– за несвоевременную установку приборов учета расхода ТЭР;

– использование топлива, электрической и тепловой энергии без утвержденных норм их расхода на производство единицы продукции;

- добровольных взносов юридических и физических лиц.

Средства данного фонда расходуются:

- на осуществление мероприятий по энергосбережению;
- участие в международном сотрудничестве в сфере энергосбережения;
- осуществление мероприятий, связанных с развитием малой и нетрадиционной энергетики, использование возобновляемых источников энергии и ВЭР;
- подготовку и переподготовку кадров для сферы энергосбережения и другие мероприятия.

В законе предусмотрено экономическое стимулирование энергосбережения. Так, например, потребителям и производителям ТЭР, которые осуществляют мероприятия по энергосбережению (в том числе и путем производства и потребления продукции с лучшими показателями по сравнению с государственными стандартами), могут быть представлены льготы в виде субсидий или дотаций.

Если объекты малой и нетрадиционной энергетики, которые принадлежат субъектам хозяйствования независимо от форм собственности, подключаются в установленном порядке к сетям энергосистемы республики, то оплата энергии, которая поставляется этими объектами, осуществляется по тарифам, которые стимулируют создание таких объектов.

В целях стимулирования рационального использования ТЭР осуществляется установление сезонных цен на природный газ и сезонных тарифов на электрическую и тепловую энергию, дифференцированных по времени суток и дням недели тарифов на эти виды энергии, а также других форм стимулирования в порядке, определяемом правительством Республики Беларусь.

### **1.3. Общая характеристика республиканской программы «Энергосбережение»**

Реализация имеющегося потенциала энергосбережения – приоритет энергетической политики, поскольку для республики каждый процент экономии энергоресурсов дает около 2 % прироста национального дохода. Стратегическая цель политики энергосбережения – приближение республики в 2010 г. к уровню государств Европейского союза по энергоёмкости валового внутреннего продукта.

В рамках энергетической стратегии разработана республиканская программа «Энергосбережение», содержащая комплекс наиболее эффек-

тивных первоочередных мер по экономии ТЭР и приоритеты последующего обновления технологий.

Постановлением Совета Министров от 24 января 2006 г. № 137 утверждена Республиканская программа энергосбережения на 2006 – 2010 гг.

В качестве базовых документов для разработки Республиканской программы были приняты:

**1. Основные направления энергетической политики Республики Беларусь на 2001 – 2005 годы и на период до 2015 года**, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27 октября 2000 г. № 1667;

**2. Целевая программа обеспечения в республике не менее 25 % объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 года**, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2004 г. № 1680.

Следует отметить, что в 2001 – 2005 гг. ежегодно формировались и реализовывались региональные и отраслевые программы энергосбережения. В целях реализации республиканской программы «Энергосбережение» на 2001 – 2005 гг. и усиления работы по повышению эффективности использования ТЭР принято постановление Совета Министров Республики Беларусь от 27 декабря 2002 г. № 1820 **«О дополнительных мерах по экономному и эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов»**.

В результате, в отраслях экономики республики внедрены энергоэффективные технологии, основное и вспомогательное энергосберегающее оборудование, эффективные теплообменники, регулируемые электроприводы, устанавливались системы автоматического регулирования потребления ТЭР, осуществлялась передача нагрузок на ТЭЦ от ведомственных котельных, замена неэкономичных котлов и другого оборудования на более эффективное, перевод котлов на местные виды топлива и горючие отходы производства и т.д.

Важное место в комплексе мер по энергосбережению занимает тепловая модернизация жилищного фонда и объектов социально-культурной сферы. Под тепловой модернизацией зданий и сооружений понимается совокупность работ и мероприятий, связанных с приведением эксплуатационных показателей по термическому сопротивлению всех элементов здания к уровню современных требований в существующих габаритах в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 [36].

**Инструкцией о порядке отнесения затрат при проведении работ по тепловой модернизации жилищного фонда и объектов социально-культурной сферы с учётом источников финансирования и статистической отчетности** (утверждена постановлением Министерства архитектуры и строительства, Министерства статистики и анализа, Комитета по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь от 25 марта 2003 г. №7/41/5) к **мероприятиям по тепловой модернизации жилых зданий и объектов социально-культурной сферы**, внедрение которых дает энергосберегающий эффект 15 % и более, **отнесены:**

- устройство индивидуальных тепловых пунктов, включая пофасадное регулирование отопления, установка циркуляционных насосов на горячем водоснабжении и отоплении в случае их отсутствия;
- применение отопительных приборов с улучшенными теплоотдающими характеристиками и регулированием;
- изоляция трубопроводов горячего водоснабжения и отопления, прокладываемых в коммуникационных нишах;
- доведение сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций (окон, балконных дверей) до требования современных нормативов (установка стеклопакетов, применение тройного остекления);
- уменьшение площади остекления фасадов, устройство систем утепления наружных стен;
- установка приборов учета и регулирования тепла, регулирование вытяжной вентиляции.

**К другим мероприятиям по тепловой модернизации жилых зданий и объектов социально-культурной сферы отнесены:**

- дополнительное утепление совмещенных кровель, дополнительное утепление чердачных перекрытий;
- устройство систем утепления цоколей, дополнительная тепловая защита входов и тамбуров;
- дополнительное утепление полов 1-го этажа, устройство систем, утепления надподвальных перекрытий.

С целью исполнения постановлений Совета Министров от 17 января 2003 г. № 45 «**О мерах по повышению эффективности эксплуатации жилищного фонда, объектов коммунального и социально-культурного назначения**» и от 10 февраля 2005 г. № 143 «**О доведении заданий по вводу в эксплуатацию в 2005 году общей площади квартир в жилых домах после капитального ремонта**» в 2005 г. обеспечен ввод в эксплуатацию после капитального ремонта и тепловой модернизации 753 тыс. м<sup>2</sup> общей площади (106,1 % от установленного задания). Непосредственно

после тепловой модернизации жилых домов, построенных по типовым проектам первых массовых серий, введено в эксплуатацию 167,8 тыс. м<sup>2</sup> общей площади, что в 1,6 раза больше, чем в 2004 г.

На 2006 – 2010 гг. поставлена задача при темпах роста валового внутреннего продукта (ВВП) 150 – 157 % добиться снижения энергоемкости ВВП на 26,1 – 30,4 %.

При планируемых объеме и структуре ВВП, объемах импорта электроэнергии, потребления местных видов топлива, ввода жилья и других показателях экономического развития необходимо в 2006 – 2010 гг. обеспечить за счет внедрения энергоэффективных мероприятий в целом по республике экономию ТЭР в объеме 7,7 – 9,1 млн т у.т.

Наряду с другими, **к основным мероприятиям Программы отнесено повышение энергоэффективности в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, бюджетной сфере, а также снижение энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве.** Прогнозируемые величины экономии ТЭР и увеличения использования местных энергоресурсов должны быть достигнуты за счет организационно-экономических и технических мероприятий по энергосбережению. В этих целях разрабатываются отраслевые программы по энергосбережению на 2006 – 2010 гг., в которых содержатся крупные энергоэффективные проекты и другие мероприятия с распределением по годам планируемой экономии ТЭР, увеличения использования местных энергоресурсов, объемов и источников финансирования.

Прогнозными заданиями по тепловой модернизации крупнопанельных жилых зданий, построенных по типовым проектам первых массовых серий, намечено осуществить в 2006 – 2010 гг. модернизацию 770 домов общей площадью 2926 тыс. м<sup>2</sup>. Конкретные задания по тепловой модернизации планируется доводить ежегодно и одновременно с доведением заданий по капитальному ремонту жилых домов с учетом реальных источников финансирования.

В целях эффективного расходования бюджетных средств производятся работы по тепловой модернизации на домах (включая кирпичные, блочные и др.), в которых нарушен температурно-влажностный режим в жилых помещениях и требуется проведение энергосберегающих мероприятий по техническому состоянию конструктивных элементов, инженерно-технических систем и оборудования.

Основными источниками финансирования энергоэффективных проектов будут собственные средства предприятий. Государственная поддержка в виде долевого участия за счет средств республиканского и мест-

ных бюджетов, инновационных фондов республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, будет оказываться организациям социальной и бюджетной сферы, а также организациям, внедряющим эффективные мероприятия по приоритетным направлениям энергосбережения.

Так, по отрасли жилищно-коммунального хозяйства на эти цели в 2006 – 2010 гг. планируется направить сумму, эквивалентную 406,1 млн долл. США, в том числе за счет средств организаций – 58,1; инновационного фонда Минэнерго на цели энергосбережения – 71,8 (в том числе на возвратной основе – 13,9); других инновационных фондов – 1,4; кредитов, займов – 45,6; средств республиканского и местных бюджетов – 229,2 млн долл. США.

В состав Республиканской программы энергосбережения включен и базовый перечень международных проектов, планируемых к выполнению в 2006 – 2010 гг. В их числе находится и такой проект, как **«Создание энергоэффективного экологически чистого малоэтажного жилья из местных природных материалов»**. Реализация его предполагается в два этапа.

На первом этапе планируется:

- разработка программы строительства экодомов с участием местных исполнительных и распорядительных органов и заинтересованных государственных органов;
- разработка нормативной базы экотехнологии строительства (стандарт Республики Беларусь на соломенные блоки, испытания их на огнестойкость, пособие проектировщика);
- разработка ряда типовых проектных решений по строительству жилых домов с низким энергопотреблением;
- проработка технологий и производственных структур для изготовления, антисептирования и реализации соломенных блоков для строительства жилых домов;
- постройка нескольких демонстрационных энергоэффективных экодомов с высокими потребительскими свойствами;
- проведение широкой кампании в средствах массовой информации по преимуществам использования этой технологии.

На втором этапе в рамках разработанной программы предусматривается строительство 150 – 200 малоэтажных домов жилой площадью 16600 – 22100 м<sup>2</sup>.

**Социально-экономическая эффективность комплекса мер по энергосбережению будет заключаться в снижении энергетической составляющей в себестоимости продукции организаций республики,**

**снижении затрат на энергоснабжение жилищно-коммунального сектора без ухудшения комфортных условий и уровня жизни населения, уменьшении зависимости республики от импорта топливно-энергетических ресурсов, улучшении экологической обстановки.**

#### **1.4. Государственный надзор**

Главная задача государственного надзора – обеспечение требований законодательства в части рационального использования топлива, электрической и тепловой энергии.

Государственный надзор осуществляется Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь.

Орган государственного надзора для осуществления этих задач:

- регулирует в соответствии с законодательством деятельность юридических и физических лиц по эффективному использованию ТЭР и энергосбережению;
- подготавливает совместно с заинтересованными республиканскими органами государственного управления, иными государственными организациями, подчиненными Правительству Республики Беларусь, местными исполнительными и распорядительными органами предложения по формированию государственной политики в сфере энергосбережения;
- организует разработку и реализацию концепций и республиканских программ по энергосбережению;
- разрабатывает критерии оценки эффективности использования ТЭР на территориальном и отраслевом уровнях;
- способствует созданию экономических условий для повышения заинтересованности юридических и физических лиц в эффективном использовании ТЭР;
- разрабатывает и вносит в установленном порядке предложения:
  - по совершенствованию экономических механизмов стимулирования эффективного использования научно-технического, промышленного, энергетического и трудового потенциала при реализации государственной политики в сфере энергосбережения;
  - по основным целевым показателям по энергосбережению для республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, облисполкомов и Минского горисполкома на основе важнейших параметров прогноза социально-экономического развития республики;

- по повышению энергоэффективности народного хозяйства республики;
- принимает участие:
  - в реализации инвестиционной политики исходя из приоритетных направлений развития республики;
  - в разработке республиканских, отраслевых и территориальных топливно-энергетических балансов;
  - в разработке проектов республиканских программ создания новой техники и технологий в части эффективного использования ТЭР;
  - в формировании программ производства и внедрения энергосберегающего оборудования, приборов учета и регулирования потребления ТЭР и соответствующих заказов на их поставку для государственных нужд;
  - в реализации соответствующих международных договоров и проектов международной технической помощи;
  - в проведении в установленном порядке государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений о строительстве новых, расширении (реконструкции, модернизации) действующих объектов в части соответствия требованиям эффективного использования ТЭР;
  - в разработке и рассмотрении проектов стандартов, норм и правил, относящихся к сфере использования ТЭР;
  - в организации подготовки и повышения квалификации специалистов в сфере энергосбережения;
  - выступает в соответствии с законодательством государственным заказчиком научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сфере энергосбережения;
  - организует проведение работ по развитию и использованию нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, ВЭР, замещению импортируемых видов топлива;
  - проводит работу по популяризации экономических, экологических и социальных преимуществ эффективного использования ТЭР, использования новых видов энергии и топлива;
  - организует в соответствии с законодательством проведение энергетических обследований;
  - осуществляет методическое руководство работой по нормированию расхода топлива и энергии и контроль за этой работой;
  - обеспечивает применение в соответствии с законодательством мер воздействия к виновным в неэффективном использовании ТЭР;
  - в установленном порядке согласовывает региональные и отраслевые программы энергосбережения;



- разрабатывает предложения и осуществляет меры по развитию внешнеэкономической деятельности в сфере эффективного использования ТЭР;
- реализует в соответствии с законодательством инновационную и научно-техническую политику в сфере эффективного использования ТЭР;
- разрабатывает проекты нормативных правовых актов, регулирующих деятельность в сфере эффективного использования ТЭР, и подготавливает предложения по их совершенствованию.

### 1.5. Энергоаудит и энергоменеджмент

Рациональное использование ТЭР на промышленных предприятиях – один из важных способов повышения эффективности их работы. В настоящее время доля энергозатрат в себестоимости продукции (без учета стоимости сырья и материалов) составляет 40 – 45 %, а в отдельных случаях достигает 70 – 80 %. Повышение эффективности использования ТЭР достигается двумя путями:

- на основе модернизации технологических процессов и структуры предприятия, что, естественно, требует значительных затрат и зачастую имеет большой срок окупаемости;
- путем поэтапной реконструкции систем энергоснабжения промышленного предприятия, что позволяет в разумные сроки вернуть вложенные средства и подготовить возможность усовершенствования энергохозяйства.

Независимо от выбранного направления для любого промышленного предприятия (объекта) целесообразной представляется разработка комплексной программы энергосбережения ТЭР. Созданию такой программы способствуют проведение энергетического обследования (энергоаудита) и паспортизация на его основе энергетического хозяйства предприятия.

**Энергетический аудит** представляет собой комплексное обследование энергопотребления конкретного производства с целью определения резервов экономии энергии, разработки программы энергосбережения и определения размера инвестиций на энергосберегающие мероприятия.

Основные задачи энергоаудита и паспортизации следующие:

1. Выявление неэкономичных режимов работы энергетического и технологического оборудования, что осуществляется на основе обследования работы и энергопотребления предприятия и системного анализа результатов.

2. Определение возможного потенциала энергосбережения на предприятии по видам энергоносителей и оценка размера инвестиций на энергосберегающие мероприятия.

3. Разработка комплексной программы по энергосбережению, включающей в себя технико-экономические обоснования эффективности применения конкретных мероприятий, с учетом динамики развития или реструктуризации предприятия.

4. Составление энергетического паспорта с отражением всех основных сведений об энергохозяйстве предприятия и оценка эффективности использования ТЭР по объектам предприятия.

К наиболее важным проблемам, связанным с организацией и проведением энергоаудита и паспортизации промышленных предприятий, относятся следующие:

1. Создание единого нормативно-правового обеспечения энергосберегающей политики на всех уровнях – от государственного до уровня конкретного предприятия.

2. Разработка единой методики (регламента) проведения энергоаудита промышленных, общегородских и жилых объектов и создание единых форм энергопаспорта для всех обследуемых объектов.

3. Подготовка специалистов по проведению энергоаудита промышленных и общехозяйственных объектов.

Особое внимание при разработке методики проведения энергоаудита следует уделить сбору и анализу статистических данных о потреблении энергоносителей. При этом выявляются:

- эффективность режима энергопотребления производства, цеха, агрегата;

- характер работы технологических установок во времени (в течение суток, дней недели и месяца, выходных дней, летом, зимой и т.п.);

- взаимосвязь показателей расхода энергоносителей обследуемого производства со смежными технологическими производствами.

Анализ потребления ТЭР подразумевает рассмотрение не только характеристик конкретного производства, но и оценку его взаимосвязи с большим числом других производств. Осуществляя анализ только одного производства без учета взаимосвязи с другими, можно получить не всегда обоснованное решение. Например, если обособленно рассматривать энергопотребление цеха переработки воздуха на предприятии по производству минеральных удобрений, можно определить эффективность его работы за текущий и предшествующий периоды. Однако, не зная в каком объеме требуется азот, кислород, сжатый воздух для работы в других цехах, нель-

зя не только сделать точный прогноз на будущее (декаду, год) для данного цеха, но и определить целесообразность того или иного режима работы блоков разделения воздуха и различных компрессоров, электропотребление которых в сумме достигает 20 – 25 % всего электропотребления предприятия.

Объективно выполненный анализ статистических данных о расходе энергоносителей, наряду с фактическими замерами, позволяет получить достоверную характеристику энергопотребления на предприятии и его объектах, например, оценку динамики изменения удельного энергопотребления, оценку эффективности энергопотребления и т.п.

Важной частью энергоаудита является оценка аварийности в системах производства, потребления и распределения энергоносителей на предприятии; этому направлению обследования при проведении энергоаудита в настоящее время не уделяется должного внимания. В то же время анализ аварийности только в системах внутреннего электроснабжения ряда предприятий (например, вырабатывающих минеральные удобрения и нефтеперерабатывающих) показал, что непроизводительные потери энергоносителей вследствие аварийности соизмеримы с потерями энергоносителей по другим причинам (недогрузки трансформаторов, потерь в кабелях, потерь из-за плохой герметичности в системах сжатого воздуха и т.п.).

Методически проведение энергоаудита следует разделять на предварительный этап, на котором происходит ознакомление с объектом и его энергопотребляющими системами и устройствами, и на основной этап – собственно энергоаудит.

Предварительный этап служит для составления программы энергоаудита. На этом этапе определяются основные энергетические характеристики объекта, его систем и устройств, выделяются наиболее энергоемкие системы энергопотребления и места наиболее вероятных потерь энергоресурсов. Предварительный этап выполняется экспертами энергоаудита совместно с персоналом предприятия (объекта). Информацию следует фиксировать в специально разработанных табличных формах и в описательном тексте. В конце предварительного этапа составляется программа проведения энергоаудита, которая согласуется с администрацией объекта и подписывается двумя сторонами. На всем протяжении энергоаудита происходит сбор информации в соответствии с разработанной программой. Источниками информации могут являться:

- опрос и анкетирование руководства и технического персонала;
- схемы энергоснабжения и учета расхода энергоресурсов;

- отчетная документация по коммерческому и техническому учету расхода энергоресурсов;
- счета от поставщиков энергоресурсов;
- графики нагрузки энергопотребления во времени (час, сутки, месяц);
- необходимые экономические данные (цены, тарифы, себестоимость);
- техническая документация на энергопотребляющее оборудование (паспорта, формуляры, спецификации, технологические регламенты, режимные карты);
- документация по ремонтам, наладочным и испытательным работам;
- документация по энергосберегающим мероприятиям;
- перспективные программы и проекты реструктуризации предприятия или модернизации отдельных его производств.

Перечисленная информация собирается как минимум за 24 последних месяца и группируется, например, по следующим разделам:

- здания (проверка качества изоляции ограждающих конструкций, остекления, уплотнения дверных и оконных проемов, чердачных и подвальных помещений);
- система центрального отопления зданий и цехов;
- система горячего и холодного водоснабжения;
- система водооборотных циклов (техническое водоснабжение) предприятия;
- системы принудительной и естественной вентиляции;
- система газоснабжения объектов;
- система электроснабжения объектов;
- системы технического и коммерческого учета расхода энергоносителей.

Энергоаудит выполняется с привлечением исполнителей от различных лицензированных организаций: аудиторских, проектных, исследовательских и пр. Однако опыт проведения энергоаудитов показывает, что наиболее высокие результаты достигаются при решении указанных задач в комплексе единой организацией-исполнителем с привлечением компетентных специалистов при обязательном участии заинтересованных специалистов самого предприятия. Состав группы энергоаудита, естественно, зависит от характера обследуемого объекта и должен включать специалистов по электроснабжению, теплоснабжению, газоснабжению, водоснабжению, компрессорному и холодильному оборудованию, метрологии, контрольно-измерительным приборам и автоматике (КИПиА). Условием достоверного, качественного энергоаудита является наличие приборного пар-

ка в совокупности с серьезным программным обеспечением; весьма желательно участие специалиста-системотехника.

В настоящее время отсутствует регламентированная форма энергетического паспорта потребителя (ЭПП), составляемого в процессе энергоаудита для предприятий-энергопотребителей. Это затрудняет обобщение результатов аудита как по отраслям, так и на государственном уровне.

Содержание ЭПП и порядок его составления должны быть непосредственно связаны с регламентом проведения энергообследования потребителя. Так же как и регламент, энергетический паспорт должен являться нормативно-хозяйственным документом, утверждаемым по единой государственной форме.

Технический отчет о проведении энергетического обследования должен включать в себя следующие характеристики:

- краткую характеристику предприятия и структурную взаимосвязь основных производств предприятия;
- энергоемкость производств предприятия по видам потребляемых энергоресурсов;
- динамику удельного энергопотребления по видам энергоресурсов и по основным видам выпускаемой продукции и сравнение их с соответствующими характеристиками энергоэффективных предприятий-аналогов;
- фонд фактического рабочего времени технологических агрегатов и механизмов с оценкой использования установленных мощностей и коэффициентов их загрузки;
- структуру распределения и учета потребления энергоносителей с оценкой источников их поступления и потребления;
- распределение расхода всех видов энергоносителей по предприятию, т.е. по технологическим переделам, по вспомогательным службам (например, в водооборотных циклах и очистных сооружениях, в компрессорном и холодильном оборудовании, если оно не входит в основной технологический процесс), по ремонтно-механическим, строительным, административно-бытовым службам и т.д.;
- нормативные и фактические потери энергоносителей в распределительных сетях и системах.

В настоящее время энергоаудит в нашей стране осуществляется в соответствии с Положением о проведении энергетического обследования предприятий, учреждений и организаций, разработанным Государственным комитетом по энергосбережению и энергетическому надзору Республики Беларусь.

По результатам энергетического обследования составляется соответствующий технический отчет, на основе которого разрабатывается оптимальный режим потребления ТЭР, а также программа по энергосбережению, выполнение которой контролируется и анализируется до следующего энергетического обследования.

**Энергоменеджмент**, по сути, представляет собой грамотное, гибкое, непрерывное и научно обоснованное управление энергетическими ресурсами производства, начиная с уровня цеха и заканчивая предприятием, концерном, отраслью.

Энергетический менеджмент включает в себя организацию оптимального функционирования и развития энергетической части любого производства на основе достижений науки, техники, технологии. В свою очередь, это и систематическое проведение энергоаудита (обследования) основного и вспомогательного производства, разработка конкретных рекомендаций и мероприятий по экономии электроэнергии с определением ожидаемых и требуемых средств, ответственность за проведение политики энергосбережения на предприятии, изучение достижений в области энергосберегающих технологий, разработка программ их внедрения на производстве с обоснованием экономической целесообразности энергосберегающих мероприятий, изучение и оценка достигнутых результатов.

В процессе проведения энергоменеджмента разрабатываются нормы расхода энергетических ресурсов; рационального расходования топлива; рационального отопления, охлаждения, теплопередачи, предотвращения теплопотерь, использования ВЭР, уменьшения потерь электроэнергии в сетях и т.д.

Помимо вышеперечисленных мероприятий, относящихся к первому уровню обязанностей, энергоменеджер разрабатывает стройную систему стимулирования энергосбережения и роста энергетической эффективности производства, несет ответственность за планирование и выполнение энергетических проектов, закупку и внедрение энергетически эффективного оборудования.

Так как большие проекты распадаются на ряд более мелких и конкретных, то вторым уровнем обязанностей энергоменеджера является согласование интересов собственного производства с возможностями партнеров, предлагающих реализацию мероприятий по энергосбережению. Взаимодействие с региональными органами власти, общественными организациями, ведомствами по энергонадзору – третий уровень деятельности энергоменеджера.

Четвертым уровнем является четкое знание нормативно-правовых актов, требований стандартов, руководящих документов в сфере энергосбережения и эффективного энергопотребления.

Наконец, пятым уровнем деятельности энергоменеджера является непрерывное повышение собственной квалификации, постоянное изучение передового отечественного и зарубежного опыта проведения энергосберегающих мероприятий.

Иногда энергоменеджмент относят к числу задач общего управления и распространяют на этапы: 1) проектирования; 2) строительства; 3) эксплуатации промышленных предприятий.

Первые два имеют ограниченную область воздействия из-за небольшого количества строящихся предприятий в сравнении с существующими и проявления эффекта в отдаленной перспективе.

Основная задача проектирования – ориентация на эффективные технологии, использование доступных по стоимости и поставкам энергоресурсов, сбалансированность межтехнологических энергетических циклов.

Строительство, монтаж, наладка оборудования требуют соблюдения норм с выводом на номинальные режимы работы.

Управление энергоиспользованием в условиях эксплуатации сложнее, так как затрагивает предприятия, имеющие разное время основания, условия комплектации оборудования и эксплуатации. Составляющие процесса управления энергоиспользованием следующие.

*1. Организационные основы:* 1) совмещение усилий технологических, энергетических и планово-финансовых служб; 2) внедрение механизма действенного экономического стимулирования деятельности всех заинтересованных служб (получение и распределение экономической выгоды энергосбережения);

*2. Исходные данные в задаче управления энергоиспользованием.* Нужны корректные характеристики процесса, приборы и системы учета и контроля движения (приход, расход, трансформация) энергоресурсов и энергоносителей. Исходная информация о параметрах энергосбережения используется для контроля текущего режима, ведения отчетности, коммерческих расчетов, анализа уровня эффективности энергопотребления.

*3. Основные направления повышения эффективности энергоиспользования.*

1) Улучшение качества исходного сырья и энергоресурсов, состава сырья (сушка, очистка), его физического состояния (помол, гранулирование, рассев), химического состава (обжиг, добавка пластификаторов, катализаторов) и т.д.

2) Техобслуживание и ремонт технологического оборудования: очистка рабочих поверхностей теплообменников, оптимизация гидравлических режимов теплосетей, устранение дефектов теплоизоляции, утечек воды, пара, сжатого воздуха ремонт и замена изношенных элементов и т.д.

3) Рационализация и оптимизация режимов работы оборудования. При таких режимах расход топлива, энергии минимален.

4) Использование ВЭР. Высокопотенциальные ВЭР (400 – 1000°С) используют либо регенерацией (возвратом) в первоначальный процесс для нагрева более холодных элементов и (или) установкой дополнительных устройств – котлов-утилизаторов.

5) Модернизация и реконструкция. Наиболее результативное и самое дорогостоящее направление энергосбережения. Наиболее распространенные виды работ:

- внедрение систем регулируемого электропривода для снижения расхода энергии;

- замена осветительных ламп на более экономичные типы замена вентиляторов устаревшего типа новыми и внедрение систем автоматического управления для снижения расхода электроэнергии на вентиляцию;

- организация систем обратного водоснабжения для снижения расхода технологической воды;

- замена поршневых компрессоров турбинными для снижения энергозатрат на выработку сжатого воздуха;

- внедрение прогрессивных производственных технологий.



## 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 2.1. Энергетические ресурсы современного производства

#### 2.1.1. Понятие энергии. Основные виды энергии

Прежде чем говорить об основных мероприятиях, обеспечивающих энергосбережение, т.е. выяснить, как можно сберечь энергию, необходимо четко определить, что представляет собой понятие «энергия»?

Энергия (греч. – действие, деятельность) – общая количественная мера различных форм движения материи.

Из данного определения вытекает:

- энергия – это нечто, что проявляется лишь при изменении состояния (положения) различных объектов окружающего нас мира;
- энергия – нечто, способное переходить из одной формы в другую;
- энергия характеризуется способностью производить полезную для человека работу;
- энергия – это нечто, что можно объективно определить, количественно измерить.

Энергию в естествознании в зависимости от природы делят на следующие виды.

Механическая энергия – проявляется при взаимодействии, движении отдельных тел или частиц.

К ней относят энергию движения или вращения тела, энергию деформации при сгибании, растяжении, закручивании, сжатии упругих тел (пружин). Эта энергия наиболее широко используется в различных машинах: транспортных и технологических.

Тепловая энергия – энергия неупорядоченного (хаотического) движения и взаимодействия молекул веществ.

Тепловая энергия, получаемая чаще всего при сжигании различных видов топлива, широко применяется для отопления, проведения многочисленных технологических процессов (нагревания, плавления, сушки, выпаривания, перегонки и т.д.).

Электрическая энергия – энергия движущихся по электрической цепи электронов (электрического тока).

Электрическая энергия применяется для получения механической энергии с помощью электродвигателей и осуществления механических процессов обработки материалов: дробления, измельчения, перемешивания; для проведения электрохимических реакций; получения тепловой

энергии в электронагревательных устройствах и печах; для непосредственной обработки материалов (электроэрозионная обработка).

Химическая энергия – это энергия, «запасенная» в атомах веществ, которая высвобождается или поглощается при химических реакциях между веществами.

Химическая энергия либо выделяется в виде тепловой при проведении экзотермических реакций (например, горении топлива), либо преобразуется в электрическую в гальванических элементах и аккумуляторах. Эти источники энергии характеризуются высоким КПД (до 98 %), но низкой емкостью.

Магнитная энергия – энергия постоянных магнитов, обладающих большим запасом энергии, но «отдающих» ее весьма неохотно. Однако электрический ток создает вокруг себя протяженные, сильные магнитные поля, поэтому чаще всего говорят об электромагнитной энергии.

Электрическая и магнитная энергии тесно взаимосвязаны друг с другом, каждую из них можно рассматривать как «оборотную» сторону другой.

Электромагнитная энергия – это энергия электромагнитных волн, т.е. движущихся электрического и магнитного полей. Она включает видимый свет, инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские лучи и радиоволны.

Таким образом, электромагнитная энергия – это энергия излучения. Излучение переносит энергию в форме энергии электромагнитной волны. Когда излучение поглощается, его энергия преобразуется в другие формы, чаще всего в теплоту.

Ядерная энергия – энергия, локализованная в ядрах атомов так называемых радиоактивных веществ. Она высвобождается при делении тяжелых ядер (ядерная реакция) или синтезе легких ядер (термоядерная реакция).

Бытует и старое название данного вида энергии – атомная энергия, однако это название неточно отображает сущность явлений, приводящих к высвобождению колоссальных количеств энергии, чаще всего в виде тепловой и механической.

Гравитационная энергия – энергия, обусловленная взаимодействием (тяготением) массивных тел, она особенно ощутима в космическом пространстве. В земных условиях, это, например, энергия, «запасенная» телом, поднятым на определенную высоту над поверхностью Земли, – энергия силы тяжести.

Таким образом, в зависимости от уровня проявления, можно выделить энергию макромира – гравитационную, энергию взаимодействия тел – механическую, энергию молекулярных взаимодействий – тепловую, энергию атомных взаимодействий – химическую, энергию излучения – электромагнитную, энергию, заключенную в ядрах атомов – ядерную.

Современная наука не исключает существование и других видов энергии, пока не зафиксированных, но не нарушающих единую естественнонаучную картину мира и понятие об энергии.

По большому счету понятие энергии, идея о ней искусственны и созданы специально для того, чтобы быть результатом наших размышлений об окружающем мире. В отличие от материи, о которой мы можем сказать, что она существует, энергия – это плод мысли человека, его «изобретение», построенное так, чтобы была возможность описать различные изменения в окружающем мире и в то же время говорить о постоянстве, сохранении чего-то, что было названо энергией, даже если наше представление об энергии будет меняться из года в год.

**Единицей измерения энергии** является 1 Дж (джоуль). В то же время для измерения количества теплоты используют «старую» единицу – 1 кал (калория) = 4,18 Дж, для измерения механической энергии используют величину 1 кг·м = 9,8 Дж, электрической энергии – 1 кВт·ч = 3,6 МДж, при этом 1 Дж = 1 Вт·°С.

Для сопоставления различных видов топлива и суммарного учета его запасов, оценки эффективности использования энергетических ресурсов, сравнения показателей теплоиспользующих устройств принята единица измерения – **условное топливо**, теплота сгорания которого принята за 29,33 МДж/кг (7000 ккал/кг). Для сравнительного анализа обычно используется единица измерения тонна условного топлива.

$$1\text{ т у.т.} = 29,33 \cdot 10^9 \text{ Дж} = 7 \cdot 10^6 \text{ ккал} = 8,12 \cdot 10^3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Этот показатель соответствует хорошему малозольному углю, который иногда называется угольным эквивалентом. За рубежом для анализа используется условное топливо с теплотой сгорания 41,9 МДж/кг. Этот показатель называется нефтяным эквивалентом [44].

Необходимо отметить, что в естественнонаучной литературе тепловую, химическую и ядерную энергии иногда объединяют понятием внутренней энергии, т.е. заключенной внутри вещества.

### 2.1.2. Первичные и вторичные энергетические ресурсы

**Энергетическим ресурсом** называют любой источник энергии, естественный или искусственно активированный. Энергетические ресурсы – носители энергии, которые используются в настоящее время или могут быть полезно использованы в перспективе. Основу классификации энергоресурсов составляет их деление по источникам получения на первичные, природные (геологические) и вторичные (побочные).

По способам использования **первичные энергетические ресурсы** подразделяют на топливные и нетопливные; по признаку сохранения запасов – на возобновляемые и невозобновляемые; ископаемые (в земной коре) и неископаемые.

**Возобновляемый энергетический ресурс** – постоянно действующие или периодически возникающие потоки энергии в результате естественных природных процессов.

В настоящее время используются солнечное излучение, энергия планетарного движения в виде приливов и отливов, энергия химических реакций и радиоактивного распада в недрах Земли, проявляющаяся в виде геотермальных источников. К возобновляемым источникам также относится преобразованная энергия Солнца в виде гидроэнергии, энергии ветра и биомассы.

**Невозобновляемый энергетический ресурс** – это природные ресурсы, образовавшиеся в результате геологического развития Земли и других природных процессов и не пополняемые (исчерпаемые) в настоящую геологическую эпоху.

Энергетические ресурсы принято характеризовать числом лет, в течение которых данного ресурса хватит для производства энергии на современном качественном уровне.

Из доклада комиссии Мирового энергетического совета (1994 г.) при современном уровне потребления запасов угля хватит на 250 лет, газа – на 60 лет, нефти — на 40 лет. При этом по данным Международного института прикладного системного анализа мировой спрос на энергоносители вырастет с 9,2 млрд т в пересчете на нефть (конец 1990-х гг.) до 14,2 – 24,8 млрд т в 2050 г.

Доля различных видов энергетических ресурсов в общемировой выработке первичной энергии на начало 90-х гг. представлена на рис. 1.

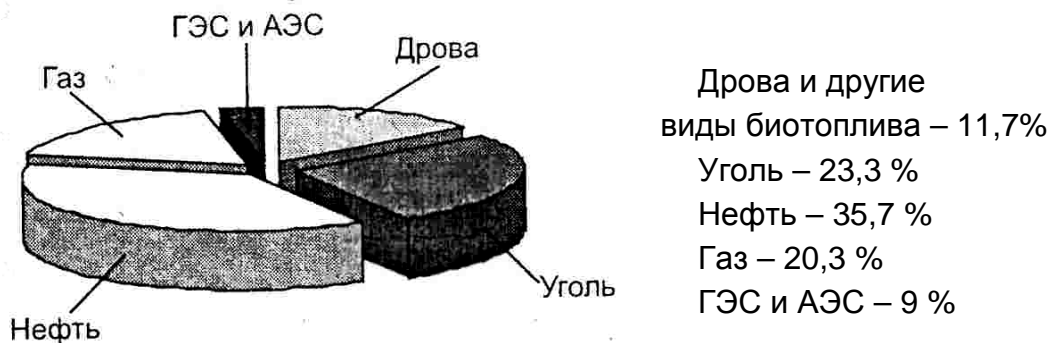


Рис. 1. Доля различных видов энергетических ресурсов в общемировой выработке первичной энергии (1998 г.), %

В современном природопользовании энергетические ресурсы разделены на три группы: участвующие в постоянном обороте и потоке энергии (солнечная, космическая энергия и т.д.), депонированные энергетические ресурсы (нефть, газ и т.д.) и искусственно активированные источники энергии (атомная и термоядерная энергии).

В экономике природопользования различают валовой, технический и экономический энергетические ресурсы.

Валовой (теоретический) ресурс представляет суммарную энергию, заключенную в данном виде энергоресурса.

Технический ресурс – это энергия, которая может быть получена из данного вида энергоресурса при существующем развитии науки и техники. Он составляет от доли процента до десятка процентов от валового, но постоянно увеличивается по мере усовершенствования энергетического оборудования и освоения новых технологий.

Экономический ресурс – энергия, получение которой из данного вида ресурса экономически выгодно при существующем соотношении цен на оборудование, материалы и рабочую силу. Он составляет некоторую долю от технического и тоже увеличивается по мере развития энергетики.

**Вторичными энергетическими ресурсами** являются энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках), которые не могут быть использованы в самом агрегате, но могут частично или полностью использоваться для энергоснабжения других потребителей.

Термин «энергетический потенциал» означает наличие определенного запаса энергии в виде химически связанного тепла, физического тепла, потенциальной энергии избыточного давления и напора, кинетической энергии и др.

Химически связанное тепло продуктов топливоперерабатывающих установок (нефтеперерабатывающих, газогенераторных, коксовальных, углеобогащительных и др.), а также тепловая энергия отходов, которая используется для подогрева потоков, поступающих в агрегат-источник ВЭР (регенерация, рекуперация), не относится к ВЭР.

Выход ВЭР – это количество вторичных энергоресурсов, которые образовались в данной установке за определенную единицу времени и годны к использованию в данный период времени.

Выработкой за счет ВЭР называется количество тепла, холода, электроэнергии, полученное в утилизационной установке. Выработки за счет ВЭР подразделяются:

– на возможную выработку, т.е. максимальное количество энергии, которое можно получить при работе установки;

- экономически целесообразную выработку, т.е. выработку с учетом ряда экономических факторов (себестоимость, затраты труда и т.д.);
- планируемую выработку – количество энергии, которую предполагается получить в определенный период при вводе вновь или модернизации имеющихся утилизационных установок;
- фактическую выработку – энергию, реально полученную за отчетный период.

Использование вторичных энергетических ресурсов – это использованное количество ВЭР данного агрегата в других установках и системах. Использование ВЭР потребителем может осуществляться непосредственно без изменения вида энергоносителя или за счет преобразования его в другие виды энергии, или выработки тепла, холода, механической работы в утилизационных установках.

Тепловые ВЭР – это физическое тепло отходящих газов, основной и побочной продукции, тепло золы и шлаков, горячей воды и пара, отработавших в технологических установках, тепло рабочих тел систем охлаждения технологических установок.

Горючие ВЭР – горючие газы и отходы, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива в других установках и непригодные в дальнейшем в данной технологии: отходы деревообрабатывающих производств (щепа, опилки, обрезки, стружки), горючие элементы конструкций зданий и сооружений, демонтированных из-за непригодности для дальнейшего использования по назначению, щелок целлюлозно-бумажного производства и другие твердые и жидкие топливные отходы.

К ВЭР избыточного давления относится потенциальная энергия газов, воды, пара, покидающих установку с повышенным давлением, которая может быть еще использована перед выбросом в атмосферу, водоемы, емкости или другие приемники.

Избыточная кинетическая энергия также относится к ВЭР избыточного давления.

Основными направлениями использования ВЭР являются топливное, когда они используются непосредственно в качестве топлива; тепловое – используются непосредственно в качестве тепла или для выработки тепла в утилизационных установках; силовое – используются в виде электрической или механической энергии, полученной в утилизационных установках; комбинированное – используются как электрическая (механическая) энергия и тепло, полученные одновременно в утилизационных установках.

Значительное количество *горючих* ВЭР используется непосредственно в виде топлива, такое же непосредственное применение нашли и *тепловые* ВЭР, например, горячая вода системы охлаждения для отопления и др.

Необходимо отметить, что изменение схем топливо- и теплопотребления, когда использование энергоресурсов внутри технологических агрегатов улучшилось, а выход вторичных энергоресурсов сократился, не является использованием ВЭР. Такие преобразования схем только усовершенствовали технологический процесс данной установки (агрегата).

При правильном использовании тепловых ВЭР, образовавшихся в виде тепла отходящих газов технологических агрегатов, тепла основной и побочной продукции, достигается значительная экономия топлива. Проведенными расчетами установлено, что стоимость теплоэнергии, полученной в утилизационных установках, ниже затрат на выработку такого же количества теплоэнергии в основных энергоустановках.

Выявление выхода и учета возможного использования ВЭР – одна из задач, которую необходимо решать на всех предприятиях и особенно предприятиях с большим расходом топлива, тепловой и электрической энергии.

Использование ВЭР не ограничивается лишь энергетическим эффектом – это и охрана окружающей среды, в том числе воздушного бассейна, уменьшение количества выбросов вредных веществ. Некоторые из этих выбросов могут давать дополнительную продукцию, например, сернистый ангидрид, выбрасываемый с отходящими газами, можно улавливать и направлять на выпуск серной кислоты.

Считается целесообразным, если при реконструкции или расширении действующих, а также при проектировании новых предприятий будет предусматриваться разработка мероприятий по использованию ВЭР с обоснованием их экономической эффективности. Отказ потребителей от использования ВЭР как на действующих, так и проектируемых предприятиях может быть обоснован только расчетом, подтверждающим экономическую неэффективность или техническую невозможность их использования [22].

### **2.1.3. Местные топливно-энергетические ресурсы**

Весь комплекс первичных энергоресурсов, ограниченных определенной территорией, объединяется понятием местные ТЭР.

Безусловно, состав и потенциал местных ТЭР различных стран индивидуален и определяется их геологическими и метеорологическими ус-

ловиями. Соответственно различны схемы и уровень проблем их энергообеспечения.

Вместе с тем существуют общие подходы к реализации концепции энергетической безопасности в странах с высоким и низким уровнем обеспеченности высококалорийными видами ископаемого топлива. К последним странам, в частности, относится Республика Беларусь.

Рассмотрим структуру и проблемы формирования ТЭК в условиях дефицита энергоносителей на примере Республики Беларусь.

Топливо-энергетический комплекс Республики Беларусь включает (табл. 1): добычу торфа и производство торфобрикетов, нефтедобычу и нефтепереработку. Также республика располагает запасами бурых углей, сланцев, нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии.

Таблица 1

**Потенциальные запасы и экономически целесообразные объемы использования местных ТЭР [41]**

Вид энергоресурсов	Потенциальные запасы	Годовой объем использования (производства, добычи)				
		2006	2007	2008	2009	2010
Нефть, млн т	58	1,67	1,65	1,63	1,60	1,58
Попутный газ, млн м <sup>3</sup>	3430	241	236	230	225	220
Торф, млн т	4000	2,87	2,98	3,09	3,20	3,31
Сланцы, млрд т	11	-	-	-	-	-
Бурые угли, млн т	151	-	-	-	-	-
Древесное топливо и отходы деревообработки, млн т у.т.	6,6	2,08	2,32	2,57	2,82	3,06
Гидроресурсы, тыс. кВтч	2270	36	120	227	327	390
Ветропотенциал, млн кВтч	2400	3,04	3,94	6,62	6,62	6,62
Биомасса, тыс. т у.т. в год	1620	-	6,6	13,2	19,8	26,4
Солнечная энергия, тыс. т у.т.	71000	0,01	0,3	1	2	3
Коммунальные отходы, тыс. т у.т. в год	470	-	4,9	9,9	14,8	19,8
Фитомасса, тыс. т у.т.	640	1,0	12,4	24,7	37,1	49,4
Лигнин, тыс. т у.т.	983	37,2	45,0	45,0	45,0	45,0
Этанол и биодизельное топливо, тыс. т у.т.	1000	-	0,5	4,9	9,9	14,8

Развитие топливной промышленности республики базируется на местных видах топлива, включая торф, нефть, попутный газ и дрова.

*Нефть и попутный газ.* Месторождения нефти сосредоточены в Припятской впадине, площадь нефтегазоносной области составляет около 30 тыс. км<sup>2</sup>. Начальные извлекаемые ресурсы нефти оценены в 362,1 млн т. В промышленные категории переведено 45 % указанных ресурсов.



С начала разработки добыто 100 млн т нефти и 10,1 млрд м<sup>3</sup> попутного газа, остаточные запасы нефти промышленных категорий составят 66,0 млн т, попутного газа – 9,6 млрд м<sup>3</sup>. Неразведанные ресурсы нефти оцениваются на уровне 170 млн т.

Основная часть нефти (96 %) добывается из активных остаточных запасов, которые составляют 30,2 млн т (45 %). Объемы добычи нефти (и соответственно попутного газа) в будущем будут постоянно снижаться. Это связано с тем, что разведанные месторождения находятся в заключительной стадии разработки, а вновь осваиваемые характеризуются малыми размерами и небольшими запасами. Кроме того, они относятся к трудно извлекаемым, и, соответственно, для добычи этой нефти требуются новейшие технологии и оборудование.

*Торф.* В республике разведано более 9000 торфяных месторождений общей площадью в границах промышленной глубины их залегания 2,54 млн га и первоначальными запасами торфа 5,65 млрд т. К настоящему времени оставшиеся геологические запасы оцениваются в 4,3 млрд т, что составляет 75 % первоначальных. Основные запасы торфа залегают в месторождениях, используемых сельским хозяйством или отнесенных к природоохраным объектам. Ресурсы торфа, включенные в разрабатываемый фонд, оцениваются в 260 млн т, что составляет 6 % оставшихся запасов.

Приведенные данные свидетельствуют, что республика располагает значительными запасами торфа. Однако без пересмотра направлений применения имеющихся ресурсов использование торфа для энергетических целей нереально.

Основным потребителем торфяных брикетов является население. Учитывая имеющиеся ресурсы торфа и то, что брикеты – достаточно дешевый вид топлива, можно говорить о целесообразности поддержания их производства на достигнутом уровне.

*Горючие сланцы.* Прогнозные запасы горючих сланцев оцениваются в 11 млрд т, промышленные – 3 млрд т. По своим качественным показателям белорусские горючие сланцы не являются эффективным топливом из-за высокой их зольности и низкой теплоты сгорания. Они требуют предварительной термической переработки с выходом жидкого и газообразного топлива. Стоимость получаемых продуктов выше мировых цен на нефть.

*Бурые угли.* В неогеновых отложениях Беларуси известно три месторождения бурых углей (Житковичское, Бриневское и Тонежское) с общими запасами 151,6 млн т. Бурые угли – низкокалорийные, поэтому пригодны в основном для использования как коммунально-бытовое топливо после брикетирования совместно с торфом. Разработка угольных месторож-

дений в ближайшей перспективе не рекомендована Республиканской экологической комиссией, поскольку при современном уровне развития технологий их энергетического использования возможный экологический ущерб значительно превысит возможные выгоды замещения экспортируемых энергоресурсов.

*Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.* С учетом природных, географических и метеорологических условий Республики Беларусь в качестве нетрадиционных и возобновляемых местных источников энергии можно рассматривать:

- малые гидроэнергетические и ветроэнергетические установки;
- биоэнергетические установки, или установки по производству биогаза;
- гелиоустановки;
- установки для сжигания отходов растениеводства и др.

Хотя эти источники могут в совокупности обеспечивать не более 5 % всей расчетной экономии расхода топлива, их применение очень важно по нескольким причинам:

- во-первых, работы по их использованию будут способствовать развитию собственных технологий и оборудования, которые впоследствии могут стать предметом экспорта;
- во-вторых, эти источники, как правило, являются экологически чистыми;
- в-третьих, их применение само по себе обеспечивает воспитание у людей психологии энергосбережения и энергоэффективности, что будет способствовать переходу от расточительной к рациональной экономике [44].

## **2.2. Традиционная энергетика**

Энергетика – область общественного производства, охватывающая энергетические ресурсы, выработку, преобразование, передачу и использование различных видов энергии.

Наиболее часто в современной энергетике выделяют традиционную и нетрадиционную энергетики.

Традиционную энергетику главным образом разделяют на электроэнергетику и теплоэнергетику. Наиболее удобный вид энергии – электрическая. Преобразование первичной энергии в электрическую производится на тепловых (конденсационных) электрических станциях (ТЭС), гидроэлектростанциях (ГЭС), атомных электростанциях (АЭС).

К нетрадиционной энергетике относятся:

- выработка энергии с помощью солнечных батарей (гелиоэнергетика);
- малые и мини- ГЭС (альтернативная гидроэнергетика);
- получение биогаза, биосинтез водорода, получение топлива из древесных отходов (биоэнергетика);
- использование энергии ветра (ветроэнергетика);
- энергетика, использующая разность температур (геотермальная энергетика);
- вторичная энергетика.

### **2.2.1. Теплоэлектростанции и теплоэлектроцентрали**

В настоящее время в Беларуси электроэнергия почти полностью производится на основе преобразования энергии ископаемого топлива. Лишь незначительная доля, составляющая несколько мегаватт, вырабатывается на основе возобновляемых источников (за исключением: биомассы).

Электроэнергия получается на ТЭС и теплоэлектроцентралях (ТЭЦ). На ТЭС для конечного потребления производится только электроэнергия, а на ТЭЦ – дополнительно теплота.

В состав технологических схем ТЭС и ТЭЦ (рис. 2) входит паросиловая установка с турбиной.

По принципу работы турбины делятся на активные и реактивные.

В *активных турбинах* кинетическая энергия потока пара преобразуется в механическую работу.

В *реактивных турбинах* теплота преобразуется в работу за счет расширения пара. В соответствии со вторым законом термодинамики в механическую работу может быть преобразовано до 45 – 46 % теплоты, так как часть ее необходимо отдавать холодильнику, которым служит окружающая среда. Поэтому при производстве на ТЭС только электроэнергии, КПД использования первичного топлива не превышает 45 %. Оставшаяся часть энергии не используется, отводится от конденсатора и передается окружающей среде с помощью системы охлаждения водой (47 %), дымовыми газами (5,5 %), через ограждающие стенки котлов и трубопроводы (2,5 %). Такая схема позволяет достичь максимума выработки электроэнергии за счет приближения температуры рабочего вещества в холодильнике (конденсаторе) к температуре окружающей среды.

Если поднять температуру рабочего вещества в охладителе выше 100°C, то охлаждающая вода будет иметь температуру, которая позволит

использовать отработанную теплоту в тепловой машине для нужд тепло-снабжения. При этом КПД использования энергии первичного топлива может достигать 92 % в ТЭЦ с противодавленческими турбинами (см. рис. 2, б). Из них 36 % приходится на электроэнергию, а 56 % – на теплоту. Причем это соотношение остается постоянным, что не всегда является оптимальным, так как потребности в электричестве и теплоте меняются в течение суток, недель и сезонов.

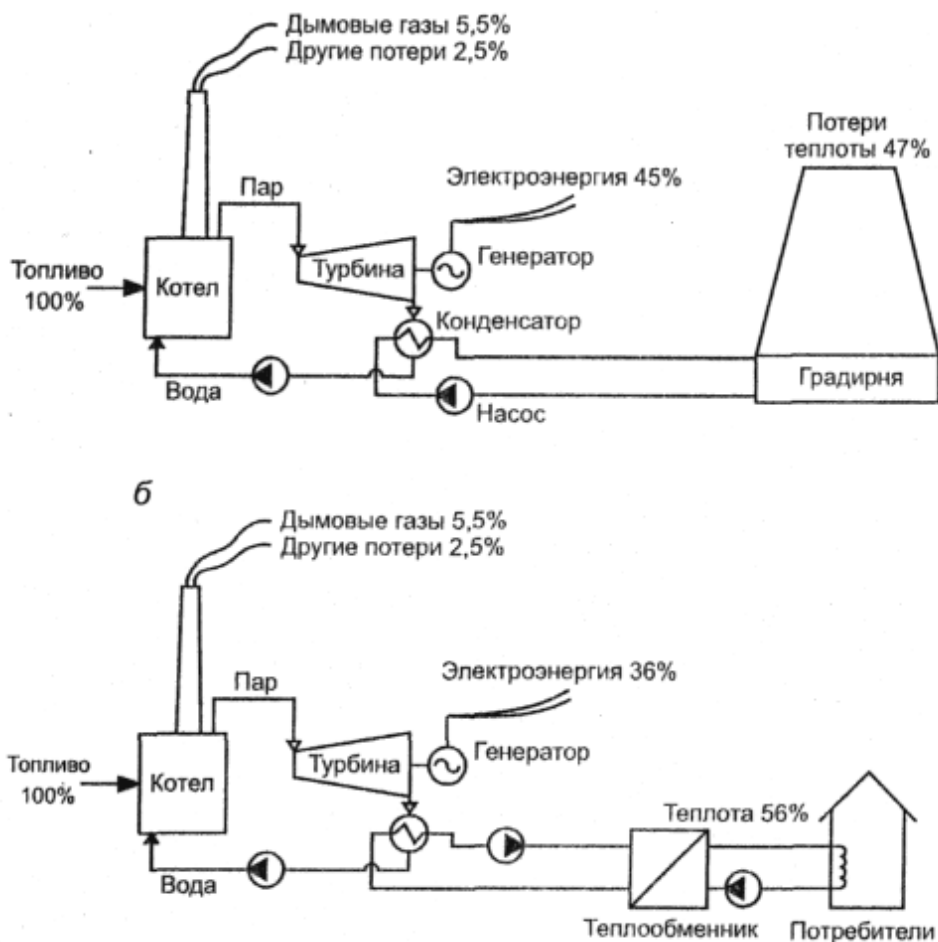


Рис. 2. Принципиальные схемы ТЭС (а) и ТЭЦ с противодавленческой турбиной (б)

Недостаток ТЭЦ с противодавленческими турбинами может быть преодолен на экстракционных ТЭЦ с турбинами, оснащенными устройствами отбора пара. На экстракционных ТЭЦ отпуск теплоты потребителям может меняться в широких пределах: от его прекращения до максимального значения, соответствующего ТЭЦ с противодавленческой турбиной. Таким образом, экстракционная ТЭЦ занимает промежуточное положение между ТЭС и ТЭЦ с противодавленческой турбиной, что позволяет гибко удовлетворять нужды потребителей в соответствии с графиками тепловой

и электрической нагрузок и в то же время добиваться энергосберегающего эффекта за счет более эффективного использования энергии первичного топлива.

В настоящее время на ТЭС и ТЭЦ наряду с паротурбинными установками (ПТУ) получают распространение парогазовые установки (ПГУ), работающие по комбинированной схеме. В первой ступени ПГУ с газовой турбиной в качестве первичного источника энергии и рабочего тела используется природный газ, а вторичным рабочим телом являются продукты сгорания. Во второй ступени источником энергии служат выхлопные газы турбины, а рабочим телом – пар, генерируемый в парогенераторе с их помощью. За счет реализации такой схемы на ТЭЦ увеличивается средняя температура подвода и уменьшается средняя температура отвода теплоты, что приводит к росту производимой полезной работы и доли выработки электроэнергии с 36 – 45 до 38 – 55 %. Парогазовая установка, работающая по аналогичной схеме, построена и эксплуатируется на Оршанской ТЭЦ [44].

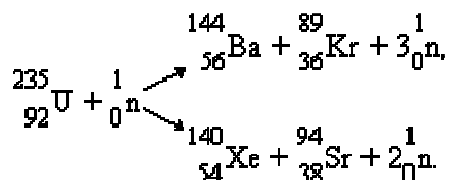
Схема получения теплоты и электроэнергии на АЭС и атомных теплоэлектроцентралях (АТЭЦ) отличается лишь способом генерирования теплоты, которая высвобождается в ядерном реакторе, а затем передается рабочему веществу паротурбинной установки.

## 2.2.2. Атомные электростанции

### Классификация и принцип действия АЭС

Атомная электростанция – комплекс технических сооружений, предназначенных для выработки электрической энергии путём использования энергии, выделяемой при контролируемой ядерной реакции.

Основной интерес для ядерной энергетики представляет реакция деления ядра  $^{235}_{92}\text{U}$ , которая имеет вид:



В результате деления ядра, инициированного нейтроном, возникают новые нейтроны, способные вызвать реакции деления других ядер. Продуктами деления ядер урана-235 могут быть и другие изотопы бария, ксенона, стронция, рубидия и т. д.

Кинетическая энергия, выделяющаяся при делении одного ядра урана, огромна – порядка 200 МэВ. При полном делении всех ядер, содержа-

щихся в 1 г урана, выделяется такая же энергия, как и при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти.

Ядерные реакции происходят в ядерном реакторе (рис. 3).

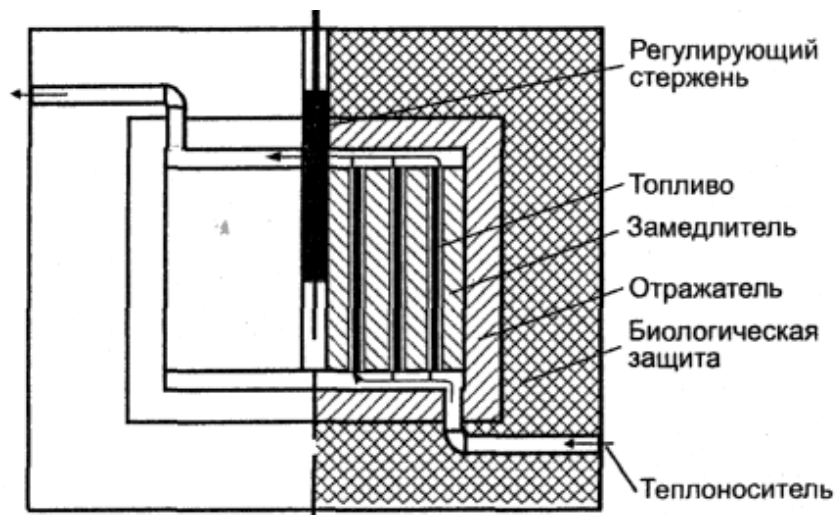


Рис. 3. Схема канального ядерного реактора на тепловых нейтронах

Для отвода тепла служит теплоноситель – вода, водяной пар, инертный газ или жидкий металл. Регулирующие стержни выполняют функцию регулирования мощности реактора, они вводятся в активную зону и изменяют поток нейтронов (захватывают нейтроны), а значит, и интенсивность ядерной реакции. Замедлитель служит для уменьшения энергии быстрых нейтронов до тепловых ( $\approx 0,025$  эВ).

Биологическая защита от радиации выполняется из слоя бетона в несколько метров толщиной, что обеспечивает безопасность персонала и окружающей среды [44].

Атомные электростанции классифицируются в соответствии с установленными на них реакторами:

- 1) *водо-водяные* с обычной водой в качестве замедлителя и теплоносителя;
- 2) *графитоводные* с водяным теплоносителем и графитовым замедлителем;
- 3) *тяжеловодные* с водяным теплоносителем и тяжелой водой в качестве замедлителя;
- 4) *графитогазовые* с газовым теплоносителем и графитовым замедлителем.

Атомные станции по виду отпускаемой энергии можно разделить:

– на *атомные электростанции (АЭС)*, предназначенные для выработки только электроэнергии;

- *атомные теплоэлектростанции (АТЭС)*, вырабатывающие как электроэнергию, так и тепловую энергию;
- *атомные станции теплоснабжения (АСТ)*, вырабатывающие только тепловую энергию.

Существуют как одноконтурные АЭС, так и двух- и трехконтурные (это зависит от типа ядерного реактора) (рис. 4).

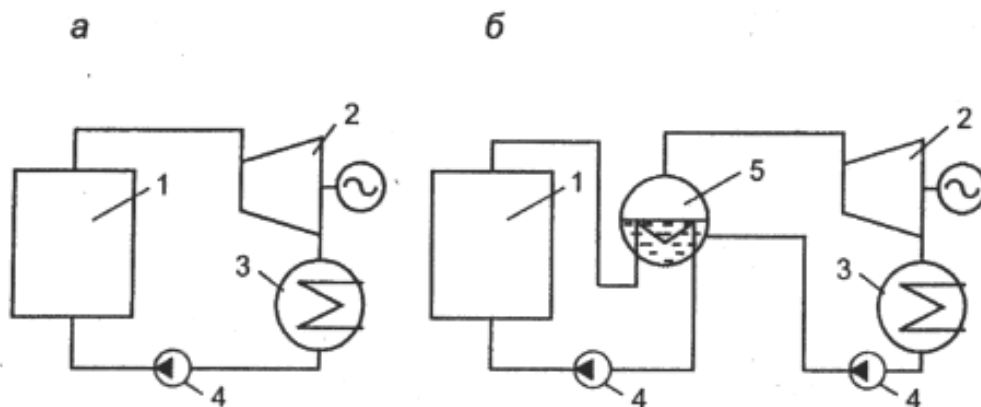


Рис. 4. Принципиальная схема одноконтурной (а) и двухконтурной (б) АЭС: 1 – реактор; 2 – турбогенератор; 3 – конденсатор; 4 – циркуляционный насос; 5 – парогенератор

Одноконтурные схемы ядерных энергоустановок применяются в АЭС с газовыми и водяными реакторами; двухконтурные – в АЭС с водоводяными реакторами; трехконтурные – в АЭС с жидкометаллическим теплоносителем.

Дополнительные контуры ядерных энергетических установок требуются для предотвращения выноса радионуклидов в последний контур с теплосиловым оборудованием. Они обеспечивают безопасную работу АЭС.

На рис. 5. показана схема работы АЭС с двухконтурным водоводяным энергетическим реактором (ВВЭР). Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передается теплоносителю первого контура. Далее теплоноситель подается насосами в теплообменник (парогенератор), где нагревает до кипения воду второго контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбин пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища.

Компенсатор давления представляет собой довольно сложную и громоздкую конструкцию, которая служит для выравнивания колебаний давления в контуре во время работы реактора, возникающих за счет теплового

расширения теплоносителя. Давление в 1-м контуре может достигать до 160 атмосфер (ВВЭР-1000).

Помимо воды, в различных реакторах в качестве теплоносителя может применяться также расплавленный натрий или газ. Использование натрия позволяет упростить конструкцию оболочки активной зоны реактора (в отличие от водяного контура, давление в натриевом контуре не превышает атмосферное), избавиться от компенсатора давления, но создаёт свои трудности, связанные с повышенной химической активностью этого металла.

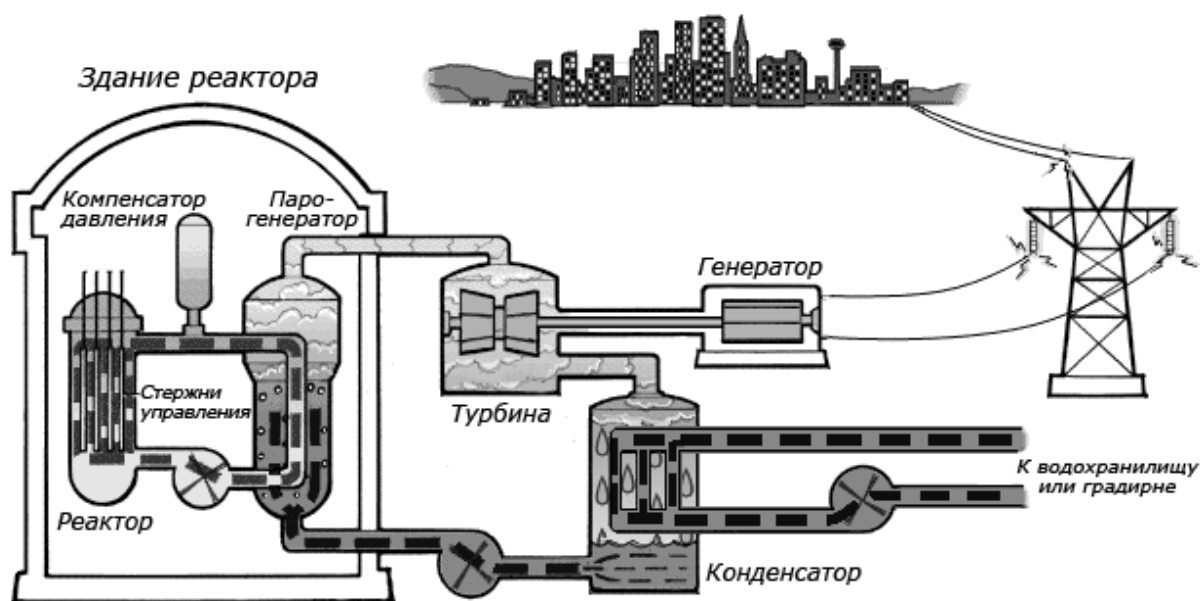


Рис. 5. Схема работы АЭС на двухконтурном ВВЭР

### Проблемные задачи атомной энергетики

Ядерная энергия в силу уникальной ее концентрации оказалась предельно приспособленной для централизованного производства электроэнергии, которой человечеству для удовлетворения своих энергетических нужд требуется все больше и больше.

Обеспеченность человечества природным ураном – основным сырьем для ядерного топлива – сопоставима с обеспеченностью нефтью и газом.

Уран находится на земле повсеместно. Это металл, приблизительно такой же распространенный, как олово или цинк, он является составляющим множества пород (концентрация в среднем 0,0002 – 0,0004 % в горных породах и 0,00013 % – в море и океане). Данные мировой добычи и потребления урана представлены в табл. 2, 3 [12].



Таблица 2

## Добыча урана в мире, 2005 – 2015 гг.

Добыча	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , т			
	2005 г.	2010 г.	2015 г.	Средний годовой рост, 2005-2015гг., %
Канада	13713	16500	21772	4,7
Казахстан	5144	14800	19200	14,1
Россия	3921	6400	8000	7,4
Африка	8154	12445	12645	4,5
Австралия	11222	10874	16654	4,0
другие	7123	8943	8122	1,3
Итого добыча:	49277	69962	86393	5,8
Предложение ВОУ	7258	9072		
Другие вторичные ресурсы	18733	13744	11703	-4,6
Итого предложение	75267	92778	98096	2,7

Таблица 3

## Крупнейшие потребители урана, 2005 – 2030 гг.

Потребители урана	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , т			
	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2030 г.
США	24 765	25 086	25 923	30 916
Канада	2118	1931	1931	2370
ЕС	27 195	24 593	24 156	19 376
Япония	9651	9908	13 084	16 940
Южная Корея	3551	4247	5910	7983
Тайвань	1126	2211	1562	1593
РФ	4020	6880	8069	10 427
Китай	1594	3378	3806	15 771
Индия	414	474	1229	4177
Общемировое потребление	78 818	84 786	91 719	117 193

Проблемы современной атомной энергетики:

**1. Полнота использования ядерного топлива.** К примеру, АЭС с блоком ВВЭР-1000 (водо-водяной энергетический реактор электрической мощностью 1000 МВт) потребляет за год примерно до 30 т ядерного топлива – обогащенного урана в виде оксида урана UO<sub>2</sub>. Для этого необходимо подвергнуть переработке порядка 150 – 180 т природного урана, содержащегося в урановой руде и являющегося на сегодняшний день основным

сырьем для ядерного топлива. Но в итоге лишь не более 1 т загружаемого в реактор ядерного топлива подвергается делению и, соответственно, участвует в энерговыработке.

Тем не менее, возможная выработка электрической энергии электростанциями на ядерном топливе в несколько сотен раз превышает выработку электроэнергии на органическом топливе, принимая равные расходы сырья. При этом топливная составляющая в себестоимости выработки электрической энергии на ядерном топливе значительно ниже, чем на органическом.

Можно получить всего 14,9 кВт·ч энергии при полном сгорании 1 кг газа, нефти – 12,6, угля – 8,2, а при делении 1 кг ядерного топлива (урана или плутония) выделяется 22,8 млн кВт·ч электрической энергии.

**2. Уровень безопасности АЭС.** С начала развития ядерной энергетики главное внимание уделялось контролю за возможной утечкой радиоактивности в окружающую среду. Поэтому к АЭС предъявлялись гораздо более жесткие требования, чем к любому другому источнику загрязнения.

Как показывает практика производственной деятельности человека, риск аварий при производстве электроэнергии с использованием нефти, газа, угля и даже на гидростанциях в сотни и тысячи раз больше, чем при получении электроэнергии от АЭС.

Авария на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. поколебала мнения многих и напугала человечество еще больше, чем последствия атомных бомбардировок японских городов Хиросимы и Нагасаки в 1945 г. (в Хиросиме погибло и ранено около 140 тыс. человек, в Нагасаки – 75 тыс.).

На Чернобыльской АЭС не было ядерного взрыва. Разрушение реактора произошло из-за его аварийного теплового перегрева, в результате ошибочных действий оперативно-диспетчерского персонала смены, дежурившей в ночь с 25 на 26 апреля 1986 г. Были госпитализированы 134 человека с острой лучевой болезнью, 32 из них умерли в течение года. Многие тысячи людей, оказавшиеся в зараженных районах, получили малые дозы радиации.

Безусловно, чернобыльская трагедия ужасна, однако каждый год только в результате автокатастроф на дорогах России и Беларуси гибнут около 35 тыс. человек и при этом никому не приходит в голову запретить использование автомобилей.

В настоящее время возможно строительство надежной, безопасной, обеспеченной ядерным топливом АЭС с захоронением остаточных отходов топлива, а также всего того, что было в контакте по технологии производства энергии.

Для этого необходимо:

- 1) создание и применение экономичных и безотказных ядерных реакторов, а также оборудования ядерной схемы АЭС;
- 2) обеспечение надежной и безопасной работы атомных реакторов;
- 3) применение методов экономичного и безопасного захоронения твердых и жидких отходов, а также отработавшего свой срок оборудования.

К настоящему времени мировая практика выработала некоторый стабильный свод правил, положений, рекомендаций, обеспечивающих безопасность АЭС и сводящихся к допустимому минимуму их воздействия на человека и окружающую среду.

Ведется разработка закона об использовании атомной энергии и радиационной безопасности и Программы развития атомной энергетики в Республике Беларусь, а также Санитарных правил проектирования и эксплуатации ядерных станций и Общих положений обеспечения безопасности атомных станций при проектировании, строительстве и эксплуатации.

В целом нормативная база проектов реакторных установок должна придерживаться:

- 1) норм и правил Республики Беларусь и Российской Федерации;
- 2) рекомендаций МАГАТЭ;
- 3) требований EUR (требования европейских эксплуатирующих реакторы организаций).

**3. Радиоактивные отходы АЭС.** Выгружаемое из реактора АЭС отработанное ядерное топливо очень радиоактивно и выделяет высокую температуру. Поэтому первоначально оно помещается в “водоемы” или большие резервуары с водой на трехметровую глубину для охлаждения и замедления радиационной активности. Это можно делать как на самой территории АЭС, так и на заводе по переработке. В результате большинство типов топлива перерабатываются не сразу после выгрузки из реактора, а по истечении 5 – 25 лет.

Сегодня в большинстве стран используется открытый ядерный топливный цикл. В отличие от него замкнутый цикл вместо транспортирования отработанного ядерного топлива (ОЯТ) к месту утилизации предполагает транспортирование его на радиохимические заводы, где происходит извлечение невыгоревшего урана. Годный для повторного применения уран составляет более 95 % от его первоначальной массы. Затем он проходит те же стадии обработки, что и добытый в рудниках.

Параллельно с этим происходит выделение и утилизация радиоактивных изотопов различных химических элементов. Радиоактивные отхо-

ды (их доля составляет менее 3 % от имевшейся в свежем ядерном топливе массы урана) перерабатываются и размещаются в застывающую стеклянную массу, которая подвергается захоронению в специально оборудованных могильниках. Это заключительная стадия.

Отработанное атомное топливо из действующих реакторов АЭС типа ВВЭР после дополнительной обработки может использоваться в реакторах на быстрых нейтронах типа БН800, где радиоактивная часть его будет выжигаться полностью, не оставляя радиоактивных отходов.

Мировой рынок обращения с отработанным ядерным топливом, имеющим остаточную радиоактивность, еще только начинает формироваться. В то же время многие страны уже оценили его значимость. В Великобритании и Франции созданы высокорентабельные радиохимические производства, разрабатывается технология сухого долговременного хранения, имеются предложения по международному хранению топлива, которые поддерживаются США, Великобританией, некоторыми странами Юго-Восточной Азии.

#### **АЭС и окружающая среда**

При нормальной эксплуатации АЭС практически не загрязняют окружающую среду вредными выбросами. Ежегодная масса “ядерной золы” от них в мире не превышает 1 % прироста токсичных химических отходов, равных более 1 млрд т моющих средств, которые со временем могут полностью отравить почву и водоемы всей планеты Земля. Кроме того, 99,5 % всех радиоактивных нуклидов, возникающих на АЭС, подвергается последующей радиохимической переработке. Поэтому не удивительно, что радиоактивность дымовых шлейфов тепловых электростанций на угле многократно превышает радиационный фон в окрестностях АЭС.

Выбросы вредных газовых составляющих – окиси азота, углекислого и сернистого газов на ТЭС в зависимости от используемого топлива выглядят следующим образом (табл. 4).

Таблица 4

#### **Выбросы вредных газовых составляющих в атмосферу тепловыми электростанциями, г/кВт ч [12]**

Энергоноситель	Уровень выбросов при производстве энергии
Каменный уголь	950
Нефть	700
Природный газ	530
Ядерное топливо	0

Атомные станции в условиях нормальной эксплуатации являются одним из наиболее экологически чистых источников энергии, по своим экономическим показателям способных конкурировать на рынке производства электричества со станциями на органическом топливе. Для сравнения в таблице 5 приведены некоторые характеристики работы тепловых и атомных станций мощностью 4 000 МВт.

Таблица 5

**Количественные характеристики работы тепловой и атомной электрических станций мощностью 4 000 МВт [12]**

Вещество	Количество (тонн в год)	
	ТЭС	АЭС
Потребление топлива*	12 000 000	4
Потребление кислорода из атмосферы	32 000 000	0
Отходы оксидов углерода	36 000 000	0
Отходы оксидов серы	800 000	0
Отходы оксидов азота	400 000	0
Твердые отходы	8 000 000	200
Выброс аэрозолей	400 000	0
Мощность тепловых сбросов в окружающую среду, МВт	6 000	8 000

\* – потребление топлива приведено в тоннах условного топлива; фактическое количество потребляемого топлива зависит от его теплотворной способности, например, для угля в зависимости от сорта 15 – 20 млн т в год.

В Беларуси строительство первого блока АЭС завершится в 2016 г., второго – в 2018 г. Ввод в действие атомных энергоблоков суммарной электрической мощностью 2000 МВт позволит заместить примерно 4,5 – 5 млн т у.т.

**Перспективы развития атомной энергетики в мире**

По подсчетам Международного энергетического агентства (МЭА), до 2030 г. страны мира потратят более 200 млрд долларов на развитие атомной энергетики. Конкретные планы расширить свои мощности есть у Финляндии, Швейцарии, Испании, Индии и США. Задумываются о первом совместном предприятии Вьетнам, Египет и Турция. Южная Корея и Китай собираются построить по восемь новых реакторов, Япония – 12. Именно развивающаяся Азия даст значительный прирост атомной энергетике.

2006 г. стал переломным для российской атомной отрасли: создана необходимая законодательная база; активизировано строительство 4-го энергоблока Белоярской АЭС с реактором на быстрых нейтронах БН-800; начата работа на стройплощадке 4-го энергоблока Калининской АЭС; началось сооружение первой плавучей атомной станции с усовершенствованным реактором ледокольного типа КЛТ-40С; началась добыча урана

российско-казахстанским СП «Заречное» (проект финансируется Евразийским банком развития и является первым российским проектом по добыче урана за рубежом).

Правительством России одобрено федеральную целевую программу (ФЦП) «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007 – 2010 гг. и на перспективу до 2015 г.». Результатом реализации программы должен стать ввод в строй к 2015 г. 10 новых энергоблоков установленной мощностью более 11 ГВт. Сейчас в России работают 10 АЭС установленной мощностью 23,2 ГВт, а доля атомной энергетики в производстве электроэнергии составляет 15,5 %. В ходе реализации ФЦП доля АЭС в производстве электроэнергии должна увеличиться до 22 % по базовому сценарию и до 30 % – по оптимистическому [7].

Должное атомной энергетике отдает не только Россия. Финляндия строит первую после Чернобыльской катастрофы атомную станцию в Европе. Это будет пятый финский энергоблок, возводимый германо-французским консорциумом на АЭС Олкилуото. Согласно проекту, энергоблок будет вырабатывать около 13 тыс. МВт энергии, что составит 10 % всей электроэнергии Финляндии. Общая стоимость самого дорогостоящего в Финляндии промышленного проекта составила около 3 млрд евро.

Вслед за Финляндией, в Германии и Англии также рассматривается вопрос о строительстве атомных станций, Италия обсуждает возможность возврата к ядерной программе, Польша собирается приступить к строительству первых ядерных реакторов, Франция, где 80 % энергии вырабатывается АЭС, к 2020 г. намерена довести число реакторов до 60-ти, Америка, не строившая более 30 лет ни одной атомной станции, планирует к 2050 г. довести их число до 300 против 103 сегодня действующих. Ну, а если взять Индию или Китай, то трудно представить, что эти страны-гиганты смогут двигаться вперед без мощного источника атомной энергии.

Научные исследования продолжаются. На юге Франции в провинции Прованс, в окрестностях города Кадараш, в Центре ядерных исследований к 2020 г. будет построен ядерный реактор с управляемым термоядерным синтезом. Источником энергии при термоядерном синтезе служат легкие изотопы, в том числе водорода, запасы которого в мировом океане безграничны.

Главное преимущество водорода состоит в том, что он полностью сгорает в кислороде, выделяя большое количество энергии (в 100 раз больше, чем при расщеплении ядерного урана, и в десятки миллионов раз больше, чем при сгорании органического топлива) и оставляя после себя только водяной пар. Его легко транспортировать по трубопроводам прак-

тически на любые расстояния, тем более что он не ядовит (хотя и взрывоопасен) и не обладает коррозирующим действием.

Запасы водорода (как компонента воды) практически неограниченны и более или менее равномерно распределены по всем континентам. Водород представляется идеальным горючим для относительно маломощных и в то же время многочисленных силовых установок, размещенных на подвижных платформах, прежде всего, для автомобильных и авиационных двигателей.

Однако при всех этих несомненных преимуществах водорода его массовое использование в качестве топлива будет сопряжено с множеством сложнейших проблем. Их решение потребует очень крупных средств, которые придется затратить как на разработку высокоэффективных технологий получения и утилизации водорода, так и на создание инфраструктуры для его промышленного производства, доставки, хранения и распределения.

Россия видит перспективу в гелии-3. Дело в том, что гелий-3, в количестве достаточном для промышленного производства идеального экологического топлива для термоядерного синтеза, находится только на Луне (в недрах нашей планеты гелия-3 не более нескольких сотен килограммов). Тем не менее, по расчетам российских специалистов, затраты на межпланетную доставку в десятки раз меньше, чем стоимость вырабатываемой сейчас электроэнергии на АЭС.

В связи с этим уже к 2015 г. Россия планирует создать постоянную базу на Луне и отработать транспортную схему по доставке на Землю гелия-3. А уже с 2020 г. россияне смогут начать промышленную добычу редкого изотопа [3].

По словам специалистов, запасы гелия-3 в верхних слоях поверхности Луны достигают примерно 500 млн т, что может полностью обеспечить земную энергетику на 1000 с лишним лет. «Чтобы обеспечить на год все человечество энергией, необходимо лишь два-три полета космических кораблей грузоподъемностью 10 т, которые доставят гелий-3 с Луны», – заявил академик Российской академии наук (РАН), член бюро Совета по космосу РАН Эрик Галимов [3].

### **2.2.3. Потребление энергии и эффективность энергоустановок**

Потребление тепловой и электрической энергии происходит неравномерно в течение суток, недели, года. Это связано с особенностью работы промышленных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных потребителей, электротранспорта.

Характер изменения потребления энергии удобно представлять в виде графиков тепловой и электрической нагрузок. Различают *хронологические* (календарные) *графики* и *графики продолжительности нагрузки* (рис. 6) [44].

Первый, с характерными максимумами и минимумами, отражает последовательность изменения нагрузки во времени. Второй показывает продолжительность времени, в течение которого имеются те или иные нагрузки.

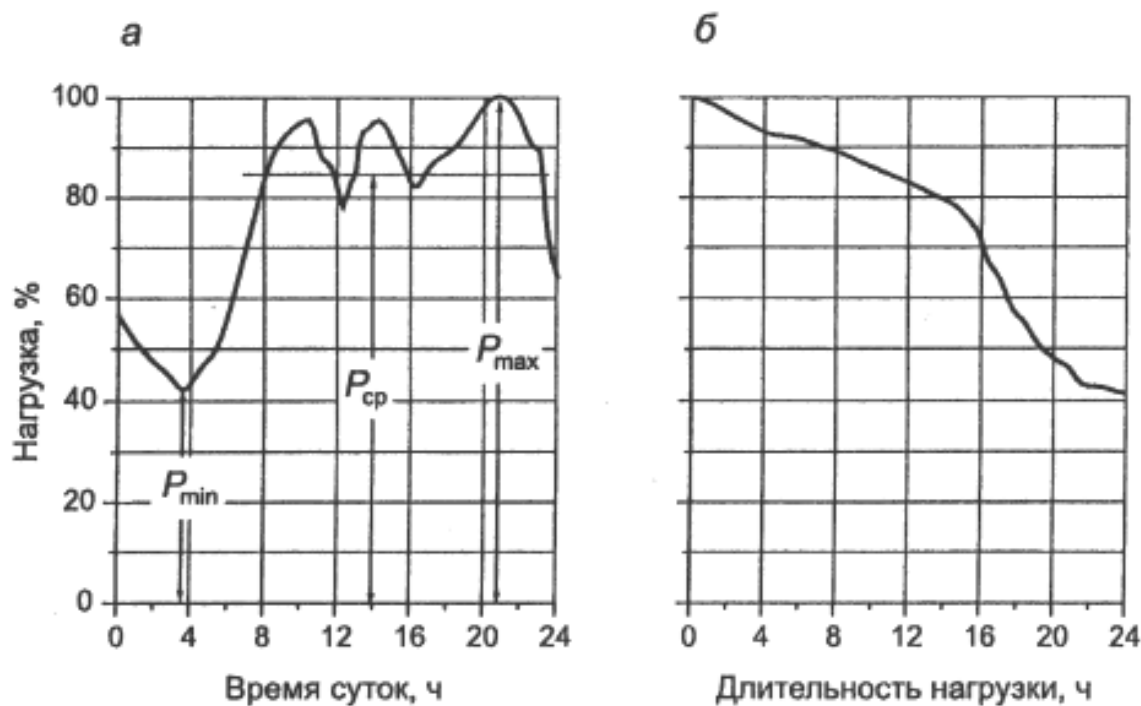


Рис. 6. Суточные хронологический график (а) и график продолжительности (б) нагрузки

Например, минимальная нагрузка имеет место в течение всех 24 ч суток. Кроме суточных строят также недельные, месячные и годовые графики максимумов нагрузок.

В зависимости от решаемых задач графики нагрузок могут характеризовать потребление энергии в энергетической системе в целом, отдельными потребителями в системе, отдельно на промышленном предприятии.

Изменение нагрузок может носить статический и динамический характер.

*Статические нагрузки* являются повторяющимися при неизменных составах потребителей и режимах потребления энергии.

*Динамические нагрузки* определяются изменением состава потребителей и режима потребляемой ими энергии.



Энергоустановки должны бесперебойно обеспечивать потребителей необходимым количеством энергии в соответствии с графиками нагрузки. Избыток электрической энергии можно передавать в сеть, в то время как теплоты должно производиться столько, сколько требуется потребителю. Иначе будут иметь место ее непроизводительные потери.

Наличие графиков нагрузки позволяет планировать оптимальную работу энергоустановок, которые имеют максимальный КПД на номинальном режиме. Это такой режим, который обеспечивает максимальную выработку энергии при минимальном потреблении первичной энергии в виде топлива.

Для того чтобы работа энергоустановок была эффективной, их разделяют по продолжительности работы на базовые, пиковые и полупиковые.

*Базовые энергоустановки* работают 6000 – 7000 ч в году, т. е. практически постоянно. Они обеспечивают при работе на номинальном режиме покрытие части графика нагрузки с минимальным потреблением энергии.

*Пиковые энергоустановки* работают периодически до 2000 ч в год и запускаются для покрытия нагрузки в зоне между максимальной  $P_{\max}$  и средней  $P_{\text{ср}}$  нагрузками.

*Полупиковые энергоустановки* покрывают часть графика в области между  $P_{\text{ср}}$  и  $P_{\min}$ .

Кроме того, маневренность в выработке энергии повышается, когда энергетические установки имеют блочное исполнение. Отдельные блоки могут работать в пиковом режиме.

Комплексное применение базовых и пиковых энергоустановок, в том числе и в блочном исполнении, позволяет наиболее эффективно использовать первичную энергию топлива, так как они работают в оптимальном режиме покрытия нагрузок с максимальным КПД.

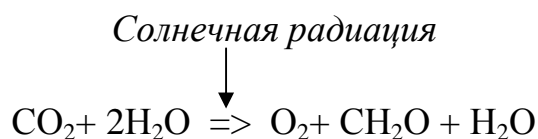
## 2.3. Нетрадиционная энергетика

### 2.3.1. Биоэнергетика

**Методы конверсии биомассы.** Сложный комплекс веществ, из которых состоят растения и животные, принято называть **биомассой**.

Основа биомассы – органические соединения углерода, которые в процессе взаимодействия с кислородом при сгорании или в результате естественного метаболизма выделяют теплоту.

Первоначальная энергия биомассы возникает в процессе фотосинтеза под действием солнечного излучения. В обобщенном виде эту реакцию можно представить следующим образом



Среди основных энерготехнологических методов переработки биомассы можно выделить (рис. 7) следующие:

- термохимический метод;
- биохимический метод;
- агрохимический метод [44].

### **Термохимический метод переработки биомассы**

**Пиролиз** – процесс нагревания биомассы либо в отсутствие воздуха, либо за счет сгорания некоторой ее части при ограниченном доступе воздуха или кислорода. КПД процесса пиролиза достигает 80 – 90 %.

В качестве исходного энергетического продукта в процессе пиролиза могут использоваться:

- органическое топливо (уголь, сланцы, торф и т.д.);
- древесные отходы;
- сельскохозяйственные отходы (солома, ботва растений и т.п.);
- биобрикеты, т.д.

Состав получаемых при этом вторичных энергетических продуктов чрезвычайно разнообразен. Изменение состава продуктов пиролиза зависит от температурных условий, типа вводимого в процесс сырья, способов ведения процесса. Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза, имеют несколько меньшую по сравнению с исходной биомассой суммарную энергию сгорания, но отличаются большей универсальностью применения:

- лучшей управляемостью процесса горения и соответственно повышением его энергоэффективности;
- большей технологичностью, более широким диапазоном возможных потребителей и соответственно более высокими экономическими и качественными показателями.

**Газификация** – способ ведения процесса пиролиза, при котором основным энергетическим продуктом является горючий газ. **Газогенератор** – устройство, в котором реализуется процесс газификации.

В состав образующегося в газогенераторе *генераторного газа* входят следующие горючие компоненты: окись углерода, водород, газообразные

углеводороды, метан. Следует указать, что верхняя граница температуры прохождения реакции газогенерации ограничена значениями 1100 – 1200 °С (температура плавления золы).

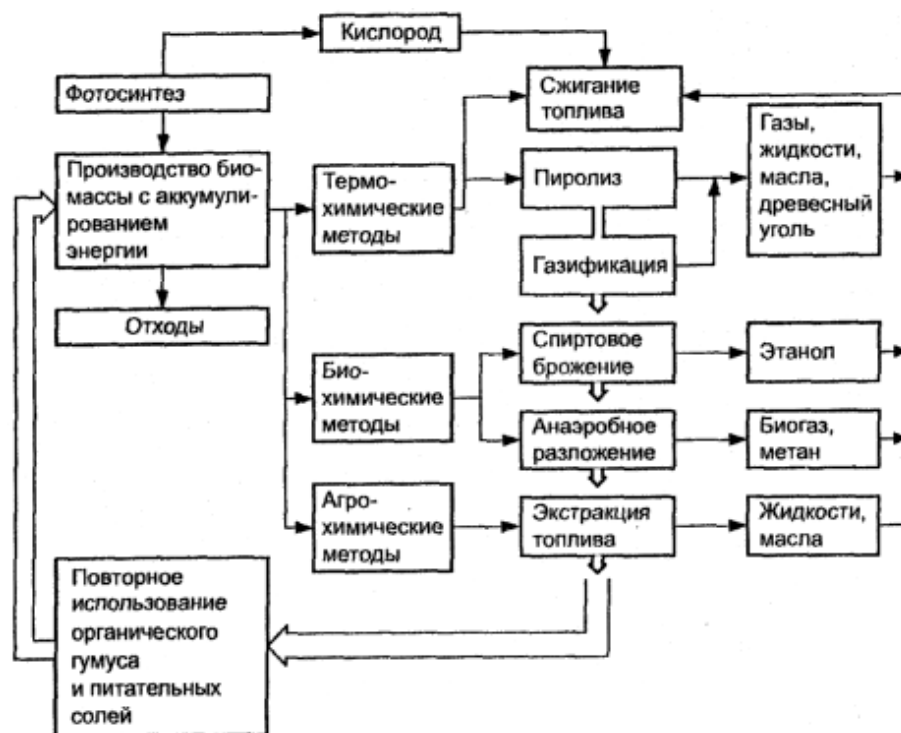
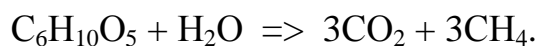


Рис. 7. Классификация основных типов энергетических процессов, связанных с переработкой биомассы

### Биохимический метод переработки биомассы

**Анаэробное разложение** – процесс получения энергии из биомассы микроорганизмами (анаэробными бактериями) в отсутствие или при недостатке кислорода и света. Полезный энергетический продукт этого процесса – биогаз.

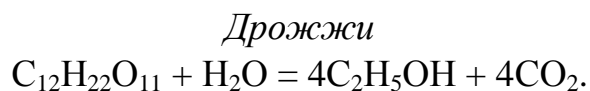
Основное уравнение, описывающее процесс анаэробного разложения биомассы (на примере целлюлозы), имеет следующий вид



**Спиртовая ферментация** – процесс получения этилового спирта в качестве энергетического продукта. Этиловый спирт (этанол)  $C_2H_5OH$  – летучее жидкое топливо, которое можно использовать вместо бензина.

В естественных условиях этанол образуется из сахаров соответствующими микроорганизмами в кислой среде (рН от 4 до 5).

Основная реакция превращения сахарозы в этанол имеет следующий вид



Жидкие топлива, и в частности этанол, отличаются чрезвычайной технологической эффективностью из-за удобства использования и хорошего управления процессом горения в двигателях внутреннего сгорания.

В качестве заменителя бензина этанол можно использовать в виде:

- 95 %-го этанола в модернизированных двигателях;
- смеси 100 %-го (обезвоженного) этанола с бензином в соотношении один к десяти в традиционных двигателях.

В настоящее время стоимость топливного этанола сравнима со стоимостью бензина, причем наблюдается тенденция ее снижения. Вместе с тем этанол характеризуется более высоким октановым числом.

**Фотолиз** – процесс разложения воды на водород и кислород под действием света. Если водород сгорает или взрывается в качестве топлива при смешении с воздухом, то происходит рекомбинация  $O_2$  и  $H_2$ .

Некоторые биологические организмы продуцируют или могут при определенных условиях продуцировать водород путем *биофотолиза*.

Подобный результат можно получить химическим путем без участия живых организмов в лабораторных условиях. Промышленного внедрения эти технологии еще не получили.

### **Агрохимический метод переработки биомассы**

**Экстракция топлив** – процесс получения жидких или твердых топлив прямо от растений или животных.

Продукцию растений можно разделить на следующие категории:

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

Возможна организация ферм по производству агрохимических топлив на основе перечисленных выше растений. Вместе с тем получаемые таким образом продукты по своим химическим свойствам могут быть гораздо ценнее, чем просто топливо.

В связи с этим более предпочтительным представляется способ получения агрохимических топлив, который основан на культивировании специализированных микроводорослей. Исследования возможности ис-

пользования микроводорослей в процессе экстракции топлив показали, что содержание в них углеводов – основного горючего компонента – может быть довольно значительным. Так, в сухих клетках зеленой расы микроводоросли «боттриококкус браунии» содержится от 1 до 36 % углеводов, а в сухих клетках коричневой расы – до 86 %. Предполагается, что залежи нефти обязаны своим происхождением предкам именно этих микроводорослей. Углеводороды, вырабатываемые «боттриококкус браунии», в основном локализованы на наружной поверхности клетки и могут быть удалены механическими методами. Оставшуюся биомассу можно подвергнуть гидрокрекингу, в результате которого получают 65 % газolina, 15 % авиационного топлива, 3 % остаточных масел.

### **Потенциал использования биомассы в Беларуси [26]**

#### **Биогаз из отходов животноводства**

Биогаз возникает при ферментации органических веществ, таких как навозная жижа, навоз, жидкое навозное удобрение, растения, пищевые отходы. Если органический материал складывается без доступа воздуха (анаэробно), то при воздействии связывающих метан бактерий (кокки, палочки, спирали, спирохеты, микоплазмы и нитевые бактерии) начинается биологический процесс, при котором образуется биогаз. Область применения биогаза показана на рис. 8.

Образующийся биогаз состоит в основном из следующих веществ:

Вещество	Химическая формула	Содержание, %
Метан	CH <sub>4</sub>	40 – 75
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	25 – 55
Водяной пар	H <sub>2</sub> O	0 – 10
Азот	N <sub>2</sub>	< 5
Кислород	O <sub>2</sub>	< 2
Водород	H <sub>2</sub>	< 1
Сероводород	H <sub>2</sub> S	< 2
Аммиак	NH <sub>3</sub>	< 1

Теплота сгорания 1 м<sup>3</sup> биогаза соответствует 6,4 кВт·ч. Из этого количества можно произвести, в зависимости от эффективности блочной тепловой установки, до 2кВт·ч электрической энергии и 2кВт·ч тепла (за вычетом теплоты при процессе).

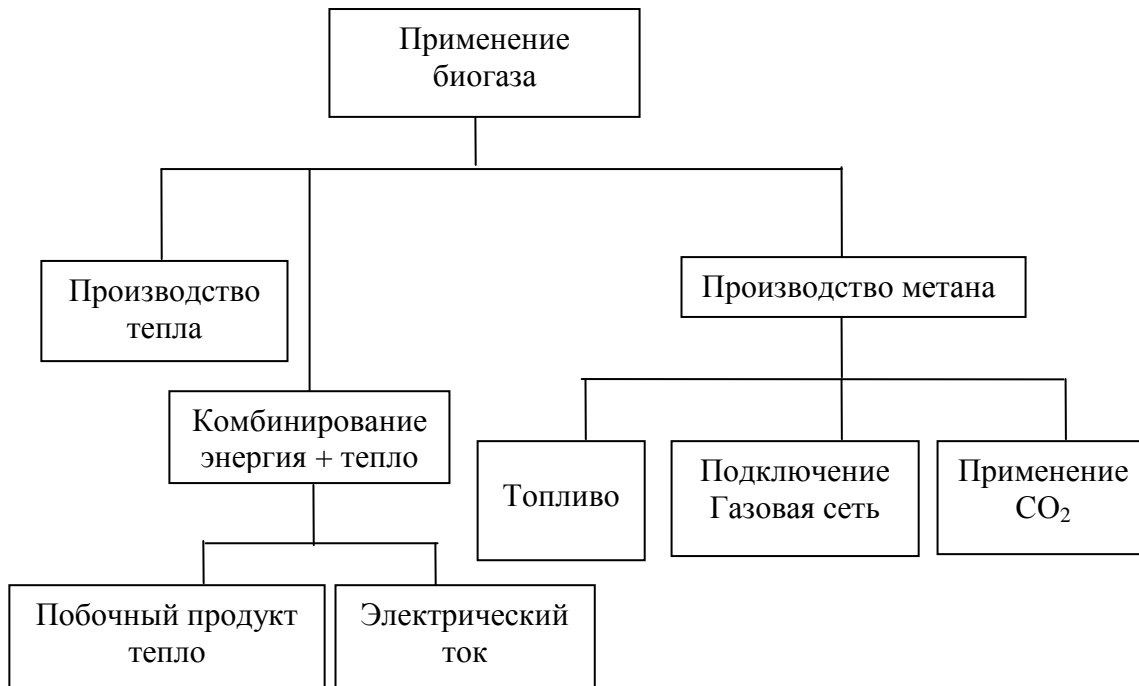


Рис. 8. Область применения биогаза

**Биогазогенератор** – устройство, в котором реализуется процесс преимущественного получения  $\text{CH}_4$  посредством анаэробного разложения исходной биомассы. Конструкции биогазогенераторов отличаются чрезвычайным разнообразием как по организации собственно технологического процесса анаэробной переработки биомассы, так и по составу исходного продукта (рис. 9) [44].

Результаты испытаний биогазовых установок для производства биогаза из отходов животноводческих комплексов подтвердили требование комплексной оценки их эффективности, так как их использование только для получения биогаза экономически неконкурентоспособно с другими видами топлива. Основная составляющая эффекта заключается в том, что без дополнительных энергетических затрат можно получить экологически чистое высококачественное органическое удобрение и вследствие этого пропорционально сократить энергоемкое производство минеральных удобрений.

Применение биогазовых установок позволит существенно улучшить экологическую обстановку вблизи крупных ферм и животноводческих комплексов, а также на посевных площадях, куда в настоящее время сбрасываются отходы животноводства.

На данный момент в Беларуси смонтировано 3 биогазовые установки. Одна из установок мощностью 330 кВт построена в районе города Заславля в

птицеплемпредприятии «Белорусское», другая – мощностью 500 кВт – в Брестской области в свинокомплексе «Западный», третья – на Гомельской птицефабрике.

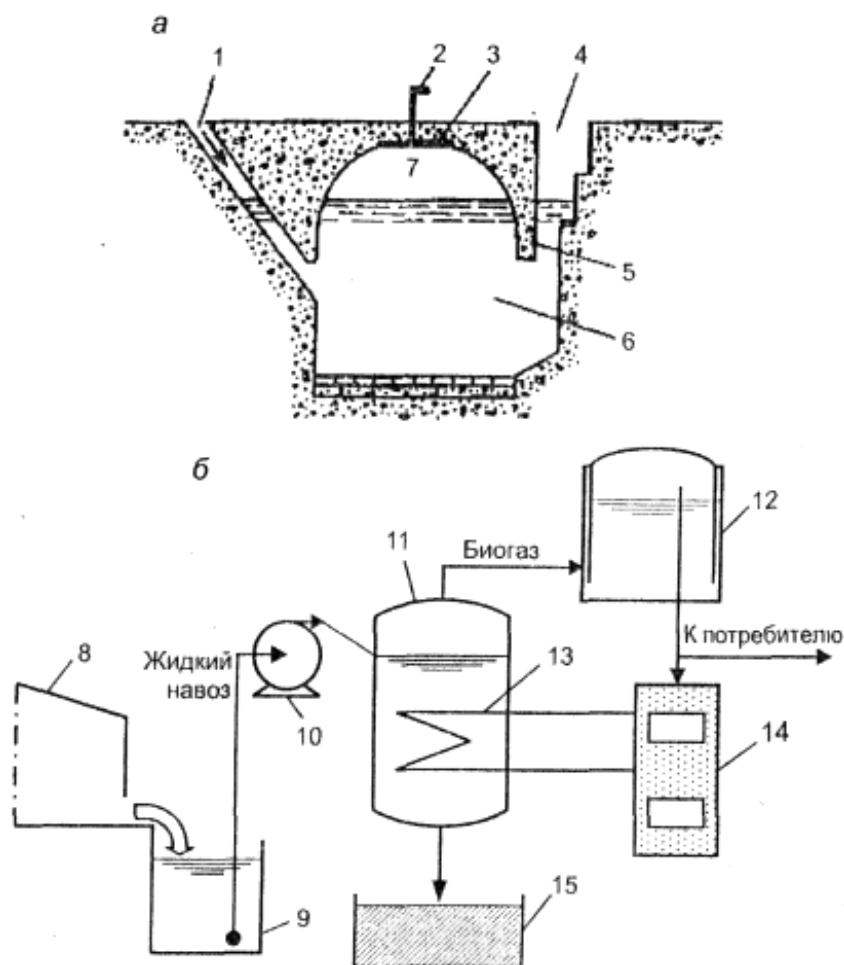


Рис. 9. Технологические схемы китайского биогазогенератора (а) и установки для промышленной переработки отходов животноводства (б): 1 – ввод материала; 2 – газопровод; 3 – съемная крышка; 4 – вывод переработанного материала; 5 – разделительная стенка; 6 – ферментатор; 7 – газ; 8 – ферма; 9 – навозоприемник; 10 – насос; 11 – метантенк; 12 – газгольдер; 13 – теплообменник; 14 – котел; 15 – переработанный остаток

На Гомельской птицефабрике содержится около 500 тыс. кур-несушек, которые ежедневно производят 90 т помета. Учитывая результаты химического анализа навоза одной из белорусских птицефабрик, проведенного германскими специалистами, предполагается, что ежедневная выработка биогаза превысит 4,5 тыс. м<sup>3</sup>, а годовая составит около 1,7 млн м<sup>3</sup>. Такого объема газа достаточно для производства 2863,4 МВт ч электрической энергии и 3 690,5 МВт ч тепловой. Помимо получения тепловой и электрической энергии, биогазовые установки позволяют без дополнительных

затрат перерабатывать навоз в высококачественное и экологически чистое удобрение, не требующее дополнительной дезинфекции.

Специалисты отмечают, что при реализации вырабатываемой электрической энергии в энергосистему, а тепловой – на поддержание техпроцесса предприятия, срок окупаемости такой установки, без учета доходов от реализации органических удобрений, не превысит 5 лет.

Потенциал самообеспечения Беларуси возобновляемыми источниками энергии за счет использования биогаза, по прогнозам специалистов, составляет не менее 15 % от нынешнего объема потребления традиционных источников энергии.

### **Отходы растениеводства**

Использование отходов растениеводства в качестве топлива – принципиально новое направление энергосбережения. Практический опыт их применения в качестве энергоносителя накоплен в Бельгии и Скандинавских странах, в нашей республике опыт массового применения отсутствует. Общий потенциал отходов растениеводства оценивается до 1,46 млн т у.т. в год. Целесообразные объемы их сжигания для топливных целей следует решать в сопоставлении с конкретными нуждами хозяйств в индивидуальном порядке, а к концу 2005 г. эта величина не превысила 20 тыс. т у.т.

### **Дрова и древесные отходы**

Централизованная заготовка дров и отходов деревообработки осуществляется предприятиями Министерства лесного хозяйства и концерна «Беллесбумпром». Наряду с использованием отходов деревообработки для получения тепла целесообразно предусмотреть экономически обоснованное вовлечение лигнина в топливный баланс республики. В целом по Беларуси годовой объем использования дров и отходов лесопиления составлял около 1,0 – 1,1 млн т у.т. Часть дров поступает населению за счет самозаготовок, объем которых оценивается на уровне 0,3 – 0,4 млн т у.т. Предельные возможности республики по использованию дров в качестве топлива можно определить исходя из естественного годового прироста древесины, который приблизительно оценивается в 25 млн м<sup>3</sup> или 6,6 млн т у.т. в год. К 2015 г. планируется увеличить в 2 раза заготовку древесины, объемы использования отходов деревообработки, лесопиления и переработки древесины.

### **Фитомасса**

В качестве сырья для получения жидкого и газообразного топлива можно применять периодически возобновляемый источник энергии фитомассу быстрорастущих растений и деревьев. В климатических условиях



республики с 1 га энергетических плантаций собирается масса растений в количестве до 10 т сухого вещества, что эквивалентно примерно 5 т у.т. При дополнительных агроприемах продуктивность гектара может быть повышена в 2 раза. Из этого количества фитомассы можно получить 5 – 7 т жидких продуктов эквивалентных нефти. Наиболее целесообразно использовать для получения сырья площади выработанных торфяных месторождений, на которых отсутствуют условия для произрастания сельскохозяйственных культур. Площадь таких месторождений в республике составляет около 180 тыс. га, которая может стать стабильным, экологически чистым источником энергетического сырья в объеме до 1,3 млн т у.т. в год.

### **2.3.2. Гидроэнергетика**

#### **Мини-ГЭС и малые ГЭС**

К нетрадиционной энергетике относят мини-ГЭС и малые ГЭС. До сих пор нет общепринятого понятия малой гидроэлектростанции (МГЭС). В большинстве государств в качестве основной характеристики принята установленная мощность ГЭС. Чаще всего – как, например, в Австрии, Германии, Испании, Польше и ряде других стран – к МГЭС причисляют гидроэнергетические установки, мощность которых не превышает 5 МВт. В Латвии и Швеции эта планка снижена до 2 МВт, а в Греции, Ирландии и Португалии, наоборот, повышена до 10 МВт.

В США после того, как там начали стимулировать развитие малой гидроэнергетики, верхний предел мощности, характеризующий МГЭС, поэтапно увеличивался и в 1980 г. достиг 30 МВт. В Советском Союзе в 1986 г. был утвержден СНиП, в соответствии с которым к малым были отнесены ГЭС с установленной мощностью до 30 МВт при диаметре рабочего колеса турбины до 3 м.

Нижним же пределом мощности МГЭС принято считать 0,1 МВт. Если меньше, то это уже мини-ГЭС.

В Беларуси малыми считаются ГЭС с установленной мощностью до 6 МВт. Подобная градация вызвана экономическими соображениями. Согласно принятому правительством в 1997 г. постановлению «О развитии малой и нетрадиционной энергетике», был установлен двойной тариф на вырабатываемую МГЭС электроэнергию, которую закупает концерн «Белэнерго».

#### **Принцип действия ГЭС [44]**

Источник гидроэнергии – преобразованная энергия Солнца в виде запасенной потенциальной энергии воды, которая затем преобразуется в механическую работу и электроэнергию. Действительно, под действием сол-

нечного излучения вода испаряется с поверхности озер, рек, морей и океанов. Пар поднимается в верхние слои атмосферы, образуя облака; затем он, конденсируясь, выпадает в виде дождя, пополняя запасы воды в водоемах.

Потенциал гидроресурсов определяется объемным расходом потока  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) и высотой падения потока или напором  $H$  (м). Максимальная мощность  $P_0$  (Вт), развиваемая потоком падающей воды без учета потерь напора,

$$P_0 = \rho g H Q,$$

где  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Преобразование потенциальной энергии воды в электрическую производится на гидроэлектростанции (рис. 10).

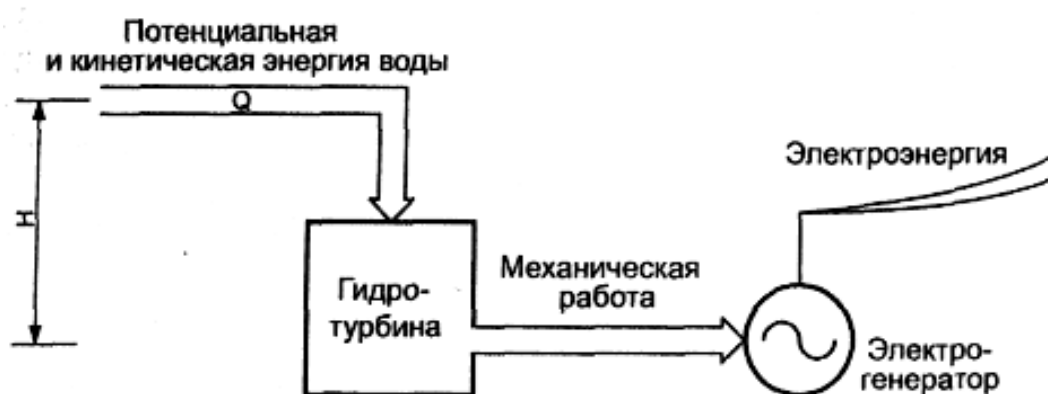


Рис. 10. Схема гидроэлектростанции

Поддержание постоянного напора  $H$  осуществляется с помощью плотины, которая образует водохранилище, служащее аккумулятором гидроэнергии. В связи с этим при строительстве ГЭС предъявляются определенные требования к рельефу местности, который должен позволить организовать водохранилище и создать требуемый напор за счет плотины. Все это связано со значительными затратами, и стоимость строительных работ может превышать стоимость оборудования ГЭС. Вместе с тем удельная стоимость электроэнергии, генерируемой ГЭС, является самой низкой по сравнению с себестоимостью энергии, производимой другими источниками. Как правило, срок окупаемости малых ГЭС не превышает 10 лет.

Для преобразования энергии воды в механическую работу используются гидротурбины (рис. 11).

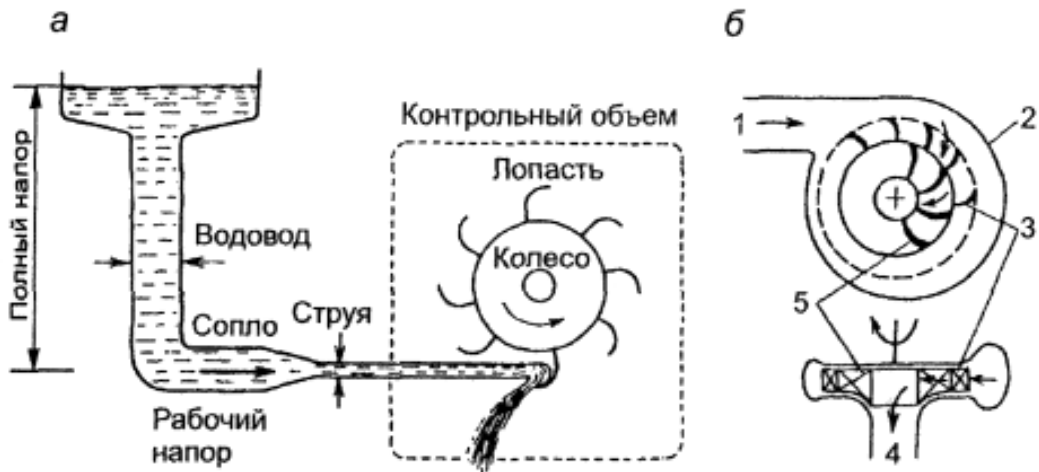


Рис. 11. Схемы активной (а) и реактивной радиально-осевой (б) гидротурбин:  
 1 – вход; 2 – спиральная камера; 3 – неподвижные лопатки направляющего аппарата;  
 4 – выход; 5 – вращающиеся лопатки.

Различают активные и реактивные гидротурбины. В активной турбине кинетическая энергия потока преобразуется в механическую. Дополнительные устройства, обеспечивающие работу турбины, - водовод и сопло. Из сопла выходит струя, обладающая кинетической энергией, которая направляется на лопасти турбины, находящейся в воздухе. Сила, действующая со стороны струи на лопасти, приводит во вращение колесо турбины, с валом которого непосредственно или через привод сопряжен электрогенератор. Коэффициент полезного действия реальных турбин колеблется от 50 до 90 %. В гидротурбинах малой мощности КПД ниже. Максимальное значение КПД, равное 100 %, может быть достигнуто, если струя после взаимодействия с лопатками будет двигаться вертикально вниз только под действием силы тяжести. КПД активной гидротурбины может быть повышен за счет ограниченного увеличения числа сопел, так как при большом их количестве будет сказываться взаимное влияние струй.

В реактивной гидротурбине рабочее колесо полностью погружено в поток, который постоянно воздействует на лопасти турбины. В наиболее распространенной турбине Фрэнсиса вращение колеса осуществляется за счет разновидности давлений потока на входе и выходе. Вода поступает в рабочее колесо радиально. Зазор между рабочим колесом и камерой – переменный. После взаимодействия потока с колесом он разворачивается на 90°. Переменный зазор и поворот потока повышают эффективность турбины. Имеются и другие конструктивные решения реактивных гидротурбин, например пропеллерная гидротурбина Каплана. Однако этот тип турбин распространен в меньшей степени из-за больших перепадов давления.

Полный КПД гидроэлектростанции определяется потерями в водоводе и каналах, турбине и генераторе. Рабочий напор  $H_g$  определяется по соотношению

$$H_g = H_t - H_f,$$

где  $H_t$  – полный напор;  $H_f$  – потери на трение в водоводах и каналах.

Рекомендуется, чтобы  $H_f \leq H_t / 3$ .

В общем случае полный КПД гидроэлектростанции определяется по соотношению

$$\eta = \frac{P_{\text{э}}}{P_0} = \frac{H_g}{H_t} \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{э}},$$

где  $P_{\text{э}}$  – мощность, снимаемая с клемм электрогенератора;

$\eta_m$  – механический КПД турбины;

$\eta_{\text{э}}$  – электрический КПД генератора.

КПД современных турбогенераторов не превышает 86 %.

### **Гидроэнергетический потенциал Беларуси [27]**

На просторах Беларуси насчитывается более 20,8 тыс. рек и ручьев общей протяженностью 90,8 тыс. км. Их суммарный сток составляет 58 куб.км. К крупным рекам относятся Днепр, Неман, Припять, Западная Двина, Сож, Березина.

По центру равнинной территории Беларуси проходит водораздел между бассейнами Балтийского и Черного морей (примерно 46 % балтийского речного стока, 55 % черноморского). Причем есть уникальное место, где на площади менее 5 километров берут начало две реки, одна из которых взяла курс на Балтику, а вторая устремилась в теплые края. Однако для развития гидроэнергетики это проигрышная ситуация: зарождающиеся на территории Беларуси реки обретают мощь уже за ее пределами, что предопределяет строительство в нашей стране главным образом МГЭС.

В 1950 – 1960 гг. в республике было построено более 170 небольших ГЭС общей мощностью около 20 тыс. кВт с годовой выработкой электроэнергии в средний по водности год 88 млн кВт·ч. Наиболее крупная – Осиповичская ГЭС (проектная мощность 2175 кВт) – возведена на реке Свислочь. Эксплуатировать ее начали в 1953 г., и она до сих пор обеспечивает город Осиповичи электроэнергией, вырабатывая до 10 млн кВт·ч в год. На Осиповичской ГЭС установлены три турбины мощностью 725 кВт каждая. Обычно работают две турбины, третья включается во время паводка или большого количества осадков.

Малые ГЭС широко использовались в колхозах и совхозах. В 1959 г. сельское хозяйство Беларуси получало от ГЭС 20 % всей потребляемой им электроэнергии. Но как только у сельских потребителей появилась возможность подключиться к государственным энергосистемам, дальнейшее развитие малой гидроэнергетики оказалось нецелесообразным. Большинство микро-ГЭС (до 100 кВт), принадлежавших в основном колхозам, было выведено из эксплуатации.

Состояние гидроэнергетики страны характеризуется соотношением запасов ее гидроэнергетических ресурсов (гидроэнергопотенциала рек) и масштаба их освоения. Теоретический потенциал наших рек оценивается примерно в 7,5 млрд кВт·ч в средний по водности год. Технический потенциал (то, что может быть использовано путем выработки электроэнергии на ГЭС или иными техническими средствами) составляет 2,5 – 3 млрд кВт·ч в год. Но при этом в расчет берется, прежде всего, экономическая целесообразность строительства и эксплуатации ГЭС. Иными словами, чем выше цены на топливо, тем выгоднее становится гидроэнергетика.

Центральным научно-исследовательским институтом комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР) были разработаны методические указания по оценке экономического гидропотенциала рек Беларуси. В нашей стране пока освоено только 3 % имеющегося экономического гидроэнергетического потенциала, тогда как в Литве – 30 %, в Польше – 44 %.

Территория Беларуси равнинная, поэтому здесь могут быть использованы только низконапорные гидроэнергетические объекты. И если на Днестре и в бассейне Припяти возможности строительства гидроэлектростанций ограничены из-за огромных площадей затопливаемых земель при создании водохранилищ, то на притоках Днестра, а также в бассейнах Западной Двины и Немана имеются условия для создания достаточно экономических и экологически безопасных гидроэлектростанций.

По сравнению с тепловыми электростанциями у ГЭС есть целый ряд преимуществ:

- отсутствие выбросов вредных веществ в атмосферу;
- относительно низкая себестоимость вырабатываемой электроэнергии (примерно в десять раз ниже, чем у вырабатываемой на тепловых электростанциях);
- высокая маневренность в процессе обеспечения потребителей электроэнергией, что позволяет вырабатывать более дорогую пиковую электроэнергию, тарифы на которую в несколько раз превышают тарифы на базовую электроэнергию;

- возобновляемость (неистощимость) энергоресурсов рек;
- возможность улучшения многоцелевого (комплексного) водопользования вследствие создания водохранилищ ГЭС.

Вместе с тем создание ГЭС связано с большими удельными первоначальными затратами (капитальными вложениями), которые на 1 кВт мощности в два и более раза выше, чем при строительстве тепловых электростанций. Но при этом следует учитывать, что половина стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой на тепловых электростанциях, – это цена газа или мазута.

Оценка экономического гидроэнергетического потенциала наших рек показала, что в Беларуси выгодно строить ГЭС, если удельные капитальные вложения на 1 кВт ее установленной мощности не превышают 2750 долл. США.

### **Достижения гидроэнергетики Беларуси [27]**

Количество МГЭС в Беларуси уже приближается к трем десяткам, а их суммарная мощность превышает 10 МВт. К 2020 г. суммарную мощность белорусских ГЭС предусматривается довести до 210 МВт. Это позволит получать около 4 % электроэнергии, потребляемой республикой в настоящее время. При этом следует учесть, что с ростом цены на топливо будет расти и экономическая эффективность отечественных ГЭС, а их строительство и эксплуатация станут еще более выгодными по сравнению с ТЭЦ. Ожидается, что общий объем капиталовложений в гидроэнергетику составит около 300 млн долл. США.

Соответствующая программа включает мероприятия по развитию гидроэнергетики по трем разделам: строительство каскадов ГЭС на основных реках (Западная Двина, Неман, Днепр) строительство малых ГЭС на притоках основных рек и существующих водохранилищах неэнергетического назначения (ориентировочная установленная мощность – 1,8 МВт); восстановление ранее действовавших ГЭС (ориентировочная установленная мощность – 1,4 МВт).

В общей сложности намечено ввести в эксплуатацию более двух десятков ГЭС суммарной установленной мощностью около 200 – 210 МВт, которые обеспечат производство более 1 млрд кВт·ч электроэнергии. По прогнозам выработанная на этих ГЭС электроэнергия позволит заместить 215 – 225 тыс. т у.т.

Восстановлена Лепельская ГЭС, построенная на реке Ула еще в 1958 г. и в 1970 г. законсервированная. Ее установленная мощность после реконструкции составила 320 кВт, а ежегодная выработка электроэнергии составляет около 2 млн кВт·ч. Этого вполне достаточно, чтобы обеспечивать электроэнергией 2 тыс. семей Лепеля. За последние годы в Витебской об-

ласти вернули к жизни 6 МГЭС, суммарная мощность которых составляет 2,5 тыс. кВт.

В Гродненской области в 2002 г. была построена МГЭС на реке Дятловка в поселке Новоельня. Затем заработала гидроэлектростанция «Немново» на Августовском канале (мощность 250 кВт). Запустили Зельвенскую ГЭС мощностью 200 кВт.

В Могилевской области начала работать ГЭС «Вихряны» мощностью 250 кВт. В Брестской области не забыли, что в Пружанском районе до 1960-х гг. тоже действовала малая гидроэлектростанция. Необходимый перепад воды между озером Паперня и рекой Зельвянка обеспечила сохранившаяся дамба. Мощность новой МГЭС – 200 кВт.

В Солигорском районе была введена в эксплуатацию гидроэлектростанция мощностью 150 кВт. Ежегодно она будет вырабатывать около 1 млн кВт·ч электроэнергии. Это уже шестая по счету ГЭС в Минской области. Здесь установлены две турбины производства Гродненского ООО «Промышленный союз-энергия» мощностью по 75 кВт каждая. Общая стоимость строительства станции составила 1,24 млрд руб. Срок окупаемости – 6 – 8 лет.

Вырабатываемая на Солигорской ГЭС энергия поступает в общую сеть энергосистемы Минской области. Ее достаточно для обеспечения электроэнергией 2,5 тыс. жителей района.

В 2002 г. в Смолевичском районе на Дубровском водохранилище вступила в строй МГЭС мощностью 150 кВт, за год она способна выработать 1 млн кВт·ч электроэнергии. Всего в 2006 г. на гидроэлектростанциях Минской области было получено 9,5 млн кВт·ч электроэнергии. На нынешний год запланировано построить еще две МГЭС – в Воложинском и Логойском районах, а в течение пятилетки – довести их количество до пятнадцати, с суммарной выработкой электроэнергии до 20 млн кВт·ч в год.

Утвержден архитектурный проект строительства Гродненской ГЭС в пойме реки Неман – в 7 километрах выше Гродно, у населенного пункта Береговой. Ее возведение начнется после проведения тендера на закупку основного оборудования. В состав гидроузла войдут здание станции руслового типа, водосливная плотина, судоходный шлюз. Сдать ГЭС под ключ намечено к 2010 г.

Строительство Гродненской ГЭС предусмотрено Государственной комплексной программой модернизации основных производственных фондов белорусской энергосистемы. Установленная мощность новой ГЭС составит 17 МВт – это больше, чем суммарная мощность всех действующих сейчас в стране ГЭС. В среднем она будет производить около 87,6 млн кВт·ч экологически чистой электроэнергии в год, что позволит экономить около

28 тыс. т у.т., которое потребовалось бы для выработки такого же количества энергии на ТЭС.

Создаваемый плотинной напор воды на ГЭС составит 7 м. В результате на территории Гродненского и Мостовского районов образуется водохранилище с площадью зеркала более 1,9 тыс. га. Это позволит улучшить условия для судоходства на Немане вследствие повышения уровня воды в реке выше гидроузла. Возрастет надежность водоснабжения населения прибрежных территорий за счет подъема уровня воды в шахтных колодцах. Планируется создание новых зон отдыха. В то же время проектом предусматривается максимально возможное снижение отрицательного воздействия водохранилища на окружающую среду. Будут осуществляться защита земель от затопления и подтопления, вынос из зоны затопления промышленных объектов и индивидуальных жилых строений, а также другие природоохранные и компенсационные мероприятия. Архитектурный проект строительства Гродненской ГЭС получил положительную оценку Минприроды.

На Западной Двине планируется строительство Полоцкой ГЭС. Ее установленная мощность составит 23 МВт. Разработку проекта выполняет РУП «БелНИПИЭнергопром». Ввод в эксплуатацию этой ГЭС запланирован на 2010 г.

В планах на 2011 – 2015 гг. – создание каскадной гидроэлектростанции на реке Днепр.

### **Экологическая безопасность объектов гидроэнергетики [27]**

Разработаны рекомендации по обоснованию экологической безопасности создания ГЭС с учетом природных условий Беларуси. Они предусматривают уменьшение площадей затопления и подтопления путем соответствующего выбора створов и водоподпорных отметок гидроузлов, а также ограничение площади образующихся мелководий и степени регулирования речного стока, благодаря чему достигается уменьшение периода водообмена и улучшение качества воды в водохранилище.

Помимо того, что при эксплуатации ГЭС отсутствуют вредные выбросы в атмосферу, образующиеся при сжигании топлива на ТЭЦ, создание водохранилищ способствует повышению уровня воды в реке. Особенно это благоприятствует мелким рекам, которые летом часто пересыхают. Кроме того, создаются лучшие условия для судоходства на более крупных реках, решаются проблемы с водоснабжением населенных пунктов прибрежных территорий за счет подъема уровня грунтовых вод, растут рыбные запасы, развивается спортивное рыболовство. Создаются новые зоны отдыха.



Безусловно, есть и определенные издержки: могут меняться термический и ледовый режим рек, почвенный и растительный покров прибрежных территорий, происходить их затопление и подтопление. Не исключена и трансформация условий обитания рыб и земноводных животных, мест обитания птиц. Однако для каждого крупного объекта еще на проектной стадии разрабатывается обоснование инвестиций, в состав которого, согласно белорусскому законодательству, обязательно входит оценка воздействия на окружающую среду и разработка мероприятий, компенсирующих это воздействие или защищающих от него. Так, проектом строительства Гродненской ГЭС предусмотрены мероприятия по защите берегов Немана от размывов и разрушений, вынос из зоны затопления промышленных объектов и жилых строений, перевод подтапливаемых угодий в сенокосные, компенсация потерь рыбному хозяйству и строительство нагульных рыбоводных прудов, создание вокруг водохранилища водоохраных зон и природоохранных прибрежных полос, что существенно ограничит поступление в воду загрязняющих веществ.

### **Развитие гидроэнергетики в мире**

В 1999 г. в Литве действовало 20 ГЭС, в 2003 – 43, в 2005 – 63. И хотя территория Литвы меньше Беларуси, она использует свой технический потенциал на 14 %, а наша республика – на 0,1 %. Бельгия, имея атомные электростанции, использует технический гидропотенциал на 75 %, Германия – на 70 %. В Швеции действует 1350 МГЭС, которые вырабатывают 10 % необходимой стране электроэнергии. В Китае насчитывается 83 тыс. МГЭС.

### **2.3.3. Ветроэнергетика**

#### **Основные элементы и принцип действия**

Основные элементы ветроэнергетических установок (ВЭУ): ветровое колесо; электрогенератор; система управления параметрами генерируемой электроэнергии в зависимости от изменения силы ветра и скорости вращения ветрового колеса.

Введение в состав ВЭУ систем управления параметрами генерируемой энергии связано с необходимостью удовлетворения требований к частоте и напряжению вырабатываемой электроэнергии в зависимости от особенностей ее потребителей. Эти требования жесткие при работе ВЭУ в рамках единой энергосистемы и достаточно мягкие при использовании энергии ВЭУ в осветительных и нагревательных установках.

Принцип действия всех ВЭУ один: под напором ветра вращается ветроколесо с лопастями, передавая крутящий момент через систему передач валу генератора, вырабатывающего электроэнергию. Чем больше диаметр ветроколеса, тем больший воздушный поток оно захватывает и тем больше энергии вырабатывает агрегат.

### **Расчет энергетических характеристик ВЭУ**

Для определения локальных значений скорости ветра на заданной высоте  $U_z$  используется соотношение

$$U_z = U_{10}(Z/10)^b,$$

где  $U_z$  – скорость ветра на определяемой высоте  $Z$ ;

$U_{10}$  – стандартное значение скорости ветра для данной местности на высоте флюгера 10 м;

$b$  – параметр, зависящий от времени года и рельефа местности (для открытых мест  $b \approx 0,14$ ).

Мощность  $P$ , развиваемая ветроэнергетической установкой, определяется из соотношения

$$P = c_p S_{ом} \rho U^3 / 2,$$

где  $S_{ом}$  – *ометаемая площадь* (площадь, покрываемая лопастями ветрового колеса диаметром  $D$  при его вращении)  $S_{ом} = \pi D^2 / 4$ ;

$c_p$  – коэффициент мощности, характеризующий эффективность использования ветровым колесом энергии ветрового потока и зависящий от конструкции ветрового колеса;

$\rho$  – плотность воздуха.

### **Типы ветродвигателей**

Основные разновидности ветродвигателей изображены на рис. 12. Они делятся на две группы:

1. Ветродвигатели с горизонтальной осью вращения (крыльчатые) (2) – (5);
2. Ветродвигатели с вертикальной осью вращения (карусельные: лопастные (1) и ортогональные (6)).

### **История ветроэнергетики**

До начала XX в. белорусы использовали энергию Солнца, ветра и воды для решения повседневных нужд: помола зерна, распиловки леса, обмолота, производства сукна и т.д. Широко были распространены плавучие мельницы – «водяки» и сукновальни, передвижные «ветряки» (рис. 13).

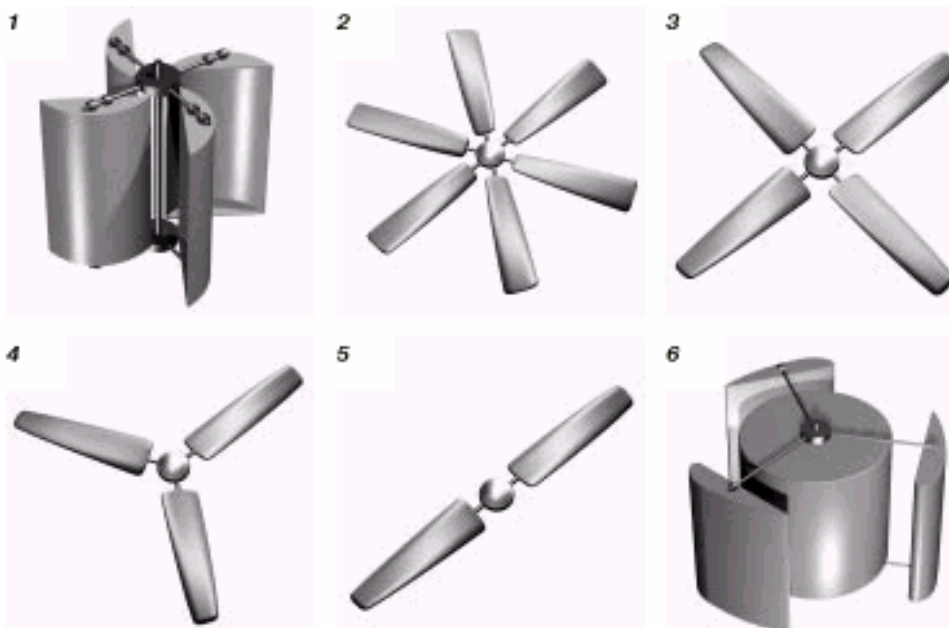


Рис. 12. Типы ветродвигателей

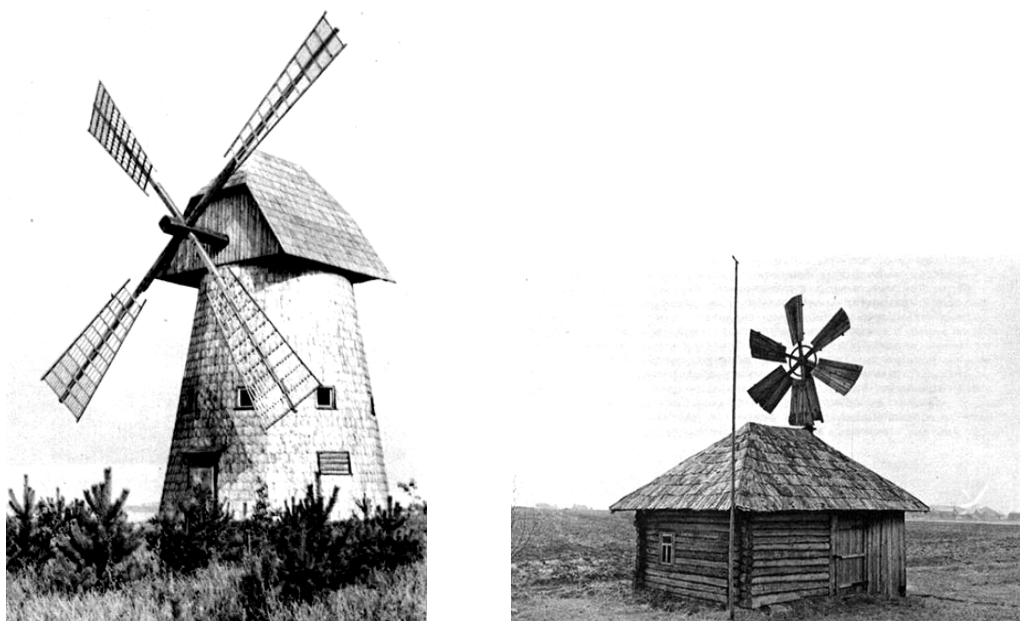


Рис. 13. Фотографии ветряной мельницы коллективного пользования XIX в. в Клецке, перенесенной из д. Залешаны, и маленькой мельницы индивидуального пользования [28]

На зимовку такие «водяки» заводились в тихие затоны в стороне от фарватера. Производились они для собственных нужд и на экспорт – в Украину и Россию. Эти устройства не требуют сооружения плотин и не наносят вреда окружающей среде в отличие от плотинных. Представление о распространении и использовании «ветряков» и «водяков» на территории Беларуси дает карта типологии устройств альтернативной энергетики (рис. 14) [42].

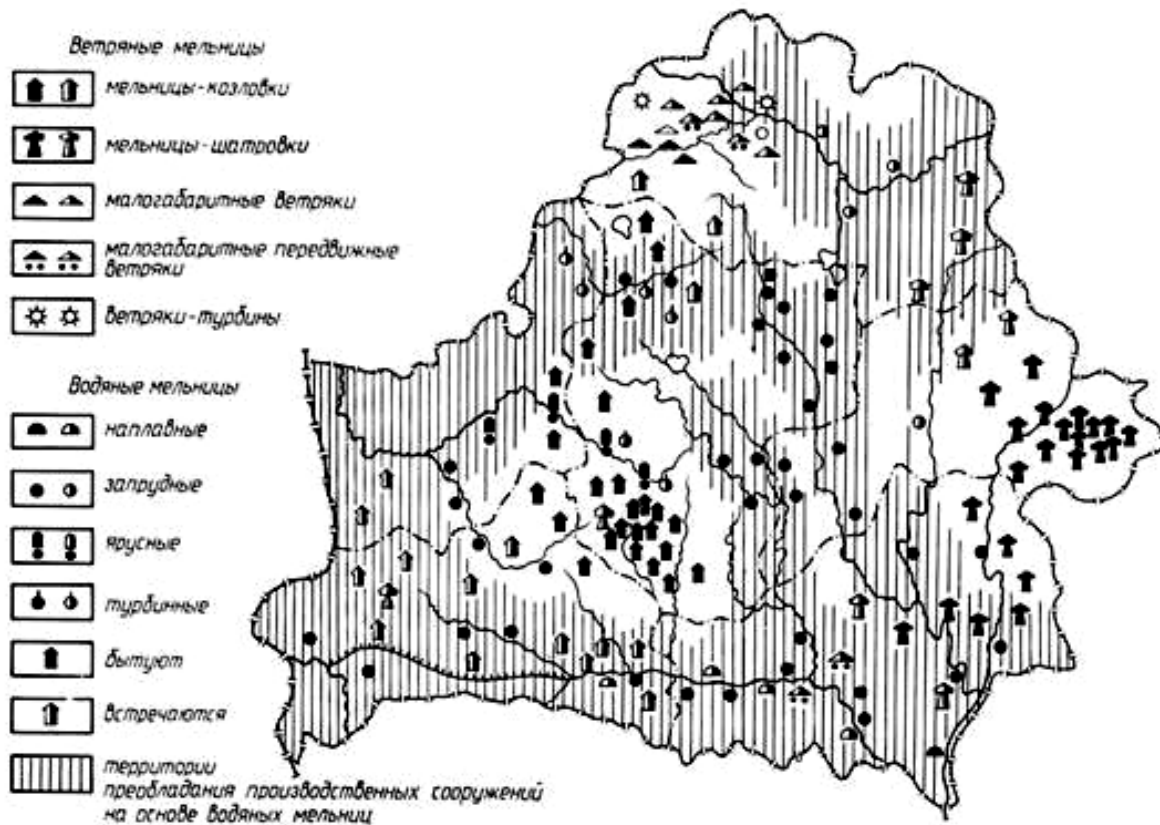


Рис. 14. Типология устройств возобновляемой энергетики XVIII – XIX вв. на территории Беларуси [42]

Поэтому широко бытующее ныне мнение «о бесперспективности» развития альтернативной энергетики в Беларуси и низком природном потенциале не соответствует исторической действительности.

### Ветроэнергетика Беларуси

Ветроэнергетика, как и любая отрасль хозяйствования, должна обладать тремя обязательными компонентами, обеспечивающими ее функционирование:

- 1) ветроэнергетическими ресурсами,
- 2) ветроэнергетическим оборудованием,
- 3) развитой ветротехнической инфраструктурой.

Работы по оценке технического ветроэнергетического ресурса Беларуси выполнены совместно НПП «Ветромаш», РУП «Белэнергосетьпроект» и Госкомитетом по гидрометеорологии.

Разработан ветроэнергетический кадастр, который включает:

- информационный банк данных о ветроэнергетических характеристиках на территории Беларуси;
- информационную базу данных с программным обеспечением для расчетов ветроэнергоресурсов на территориях и оценки ветроэнергетического потенциала конкретной ВЭУ в конкретном месте ее внедрения;

– ветроэнергетический атлас, содержащий набор карт размещения ветротехники В12 и В14 континентального базирования на отдельных территориях Беларуси и паспорта точек (площадок) преимущественного внедрения ветротехники;

– временные руководящие документы по применению, созданию, сертификации, строительству и эксплуатации ветротехники;

– временное руководство по оценке ветровых режимов по требованиям ветроэнергетики на период 2005 – 2020 гг.

Сведения о ветроэнергетических ресурсах территории Беларуси представлены в табл. 6 [25].

Таблица 6

**Ветроэнергетические ресурсы территории Беларуси**

Область	Используемая территория, тыс. км <sup>2</sup>	Номер зоны	Территория зоны, тыс. км <sup>2</sup>	Выработка энергии				
				На 1 км <sup>2</sup> , тыс. кВт ч	Максимум в зоне, млрд кВт ч	Утилизируемый ветроэнергоресурс, млрд кВт ч		
						100 %	7 % на 10 лет	1 % на 3 года
				ПВЭР	ТВЭР	ЭВЭР		
Брестская	14,9	II III IV	10,9	2161	23,51	20,78	1,45	0,21
			3,1	3840	11,74	9,04	0,63	0,09
			0,9	6534	6,11	4,06	0,29	0,04
		Итого	41,36	33,88	2,37	0,34		
Витебская	12,5	II III IV	1,0	2566	2,41	2,02	0,14	0,02
			4,2	4962	20,11	16,43	0,12	0,16
			7,3	7285	53,13	35,33	2,47	0,35
		Итого	75,65	53,78	2,73	0,53		
Гомельская	12,4	II III IV	1,4	2161	3,02	2,67	0,19	0,03
			8,5	3840	32,43	24,96	1,75	0,25
			2,5	6534	16,30	10,84	0,75	0,11
		Итого	51,75	38,47	2,69	0,39		
Гродненская	11,2	II III IV	6,0	2161	12,93	11,43	0,80	0,12
			2,9	3840	11,09	8,29	0,58	0,08
			2,3	6534	15,22	10,12	0,17	0,10
		Итого	39,24	29,84	2,09	0,30		
Могилевская	12,4	II	10,5	2161	22,74	18,07	1,31	0,18
		III	1,9	3840	7,25	5,58	0,39	0,06
		Итого	29,99	23,65	1,70	0,24		
Минская	13,9	II III IV	9,9	2566	25,42	22,48	1,58	0,22
			1,3	3840	4,84	3,73	0,26	0,04
			2,7	7285	19,93	17,62	1,23	0,18
		Итого	50,19	43,83	3,07	0,44		
Всего по Беларуси	77,4	II	39,7	-	90,03	77,45	5,47	0,78
		III	21,9	-	87,46	68,03	3,73	0,68
		IV	15,7	-	110,59	78,02	5,45	0,78
		Итого	288,08	223,50	14,65	2,24		

Наиболее эффективно обеспечивается использование современной зарубежной ветротехники на территориях зон со среднегодовыми фоновыми скоростями не ниже 4,5 м/с на холмистом рельефе. К таким регионам относятся: возвышенные районы большей части севера и северо-запада Беларуси, центральная зона Минской области, включая прилегающие с запада районы, Витебская возвышенность (рис. 15).

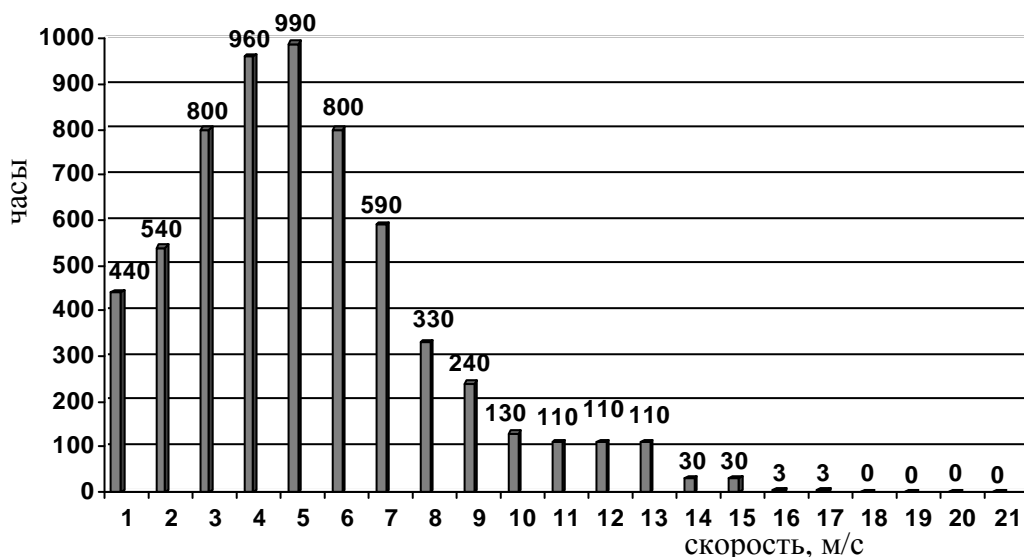


Рис. 15. Ветропотенциал северо-западной части Беларуси

Исходя из ветроэнергетического потенциала, только в Минской области насчитывается 1076 строительных площадок под размещение на каждой от 3 до 10 ВЭУ континентального базирования мощностью до 1000 кВт. Среднегодовая выработка только 10 % этих ВЭУ в статистическом распределении времени работы в номинальном режиме от 2500 до 3300 ч в год на срок эксплуатации установок составляет около 2676 млн кВт ч. Соответственно среднегодовая экономия жидкого топлива составит более 800 тыс. т.

Сроки окупаемости капитальных вложений в ветротехнику сопоставимы со сроками окупаемости малых гидроэлектростанций, парогазовых и газо-мазутных электростанций и значительно ниже данных сроков для угольных, атомных и дизельных электростанций. По завершении срока окупаемости затраты на эксплуатацию ВЭУ неизмеримо ниже аналогичных затрат для электростанций, работающих на жидком, газообразном, твердом и ядерном топливе, т.к. не нуждаются в поставках ископаемых источников энергии.

Следует учитывать, что ветроэнергетическая отрасль за счет каждой ВЭУ начинает вырабатывать энергию немедленно после монтажа и при этом не требует гигантских единовременных капитальных вложений, так-

же как и концентрированных вложений при заменах по завершении сроков эксплуатации каждой отдельной ВЭУ.

В Беларуси работают две ВЭУ (рис. 16, 17). Они установлены и эксплуатируются организацией «ЭкоДом» совместно с немецким НПО «Дома вместо Чернобыля». За 2003 г. только одна из указанных ВЭУ, мощностью 600 кВт, выработала более 1 млн кВт ч электроэнергии, что больше, чем выработали аналогичные ВЭУ, например, под Берлином или Дрезденом, а реальный срок окупаемости капвложений составляет те же 7-8 лет, что и в Германии.



Рис. 16. Первая промышленная ВЭУ мощностью 250 кВт около г.п. Занарочь 2001 г.



Рис. 17. Вторая промышленная ВЭУ мощностью 600 кВт в процессе монтажа 2002 г.

Разрабатывается проект промышленной ВЭУ мощностью 1,2 МВт в д. Грабники Новогрудского района.

Считается, что площадка в д. Грабники – одна из самых высоких в нашей стране. Она относится к 4-му классу ветровой зоны и позволяет эксплуатировать установку более 6000 ч в год. Абсолютная высота плато в месте возведения ВЭУ составляет 315 м.

В будущем вырабатываемая на ВЭУ д. Грабники электроэнергия средней мощностью 400 кВт будет подаваться в сети РУП «Гродноэнерго». Этого достаточно для обеспечения энергией 80-квартирного жилого дома или производственного участка на 50 металлообрабатывающих станков.

К 2010 г. в нашей стране в соответствии с Государственной программой модернизации основных производственных фондов планируется исполь-

зование годового ветроэнергетического потенциала в объеме 7,34 млн кВтч, или 2,05 тыс. т у.т. при общей установленной мощности ВЭУ 4,1 МВт [33].

### **Перспективы развития в мире**

Темпы увеличения суммарной мощности ВЭУ и ВЭС в мире имеют тенденцию быстрого роста. Так, суммарная мощность всех ВЭС планеты в 2001 г. составила 24,35 ГВт, а к концу 2006 г. – уже более 74 ГВт и продолжает неуклонно расти. Европейская ассоциация ветроэнергетики (EWEA) пересмотрела планы роста установленных ветроэнергетических мощностей в Европе к 2010 г. от прежней цифры в 40 ГВт до 60 ГВт. На Европу приходится около 70 % мировых ветровых мощностей, наибольшая часть которых расположена в Германии, Испании и Дании.

### **2.4.4. Гелиоэнергетика**

На основании двадцатилетнего периода наблюдения установлено, что средняя продолжительность солнечного сияния в Беларуси составляет 1815 ч в год. Годовой приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность достигает 980 – 1180 кВтч/м<sup>2</sup>. Солнечные лучи ежегодно приносят в Беларусь в 20 тыс. раз больше энергии, чем мы потребляем. Крыша одноэтажного дома на севере Беларуси получает в 10 раз больше энергии, чем требуется для отопления этого дома.

Проведенный сравнительный анализ продолжительности солнечного сияния и прихода суммарной солнечной радиации в странах Западной Европы с умеренным климатом, расположенных между 50 и 60 °с.ш., показал, что Беларусь по продолжительности солнечного сияния имеет близкие значения с этими странами, а по приходу среднемесячной солнечной радиации даже превосходит северную часть Германии, Швецию, Данию, Великобританию. Эти государства наряду с «солнечными странами» считаются лидирующими в Европе по выпуску и применению гелиоэнергетического оборудования [44].

В Республике Беларусь целесообразны три варианта использования солнечной энергии:

- 1) использование солнечной энергии для целей горячего водоснабжения и отопления с помощью солнечных коллекторов;
- 2) использование солнечной энергии для производства электроэнергии с помощью фотоэлектрических установок.
- 3) пассивное использование солнечной энергии методом строительства домов «солнечной архитектуры».



**Горячее водоснабжение.** В системах горячего водоснабжения и отопления используются плоские солнечные коллекторы.

Солнечный коллектор представляет собой теплообменный аппарат с каналами, через которые проходит теплоноситель. Часть солнечной радиации поглощается поверхностью теплообмена и передается теплоносителю (рис. 18.)

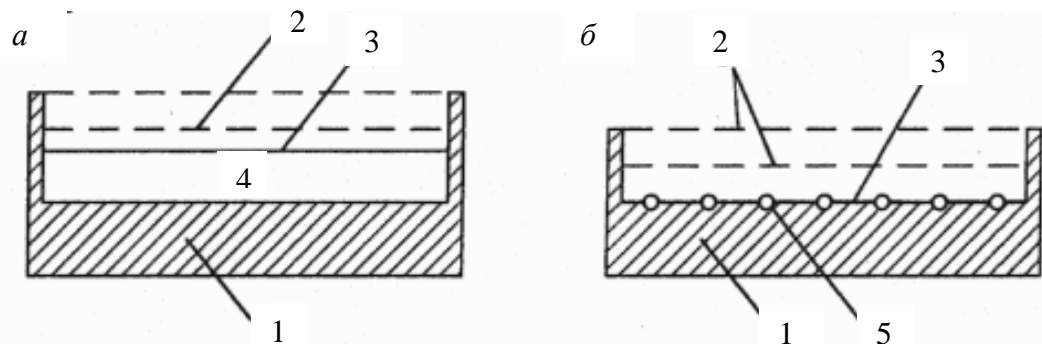


Рис. 18. Схемы плоских солнечных коллекторов систем воздушного (а) и водяного (б) теплоснабжения: 1 – тепловая изоляция; 2 – стекло; 3 – лучепоглощающая поверхность теплообмена; 4 – канал для воздуха; 5 – каналы для воды

Изолированный коллектор имеет многослойное остекление, пропускающее солнечные лучи, и позволяет нагреть воду до  $90^{\circ}\text{C}$ .

Плоский коллектор поглощает прямое и рассеянное солнечное излучение. В связи с тем, что потоки солнечных лучей носят нерегулярный характер, для надежного теплоснабжения следует использовать двухконтурные схемы с резервным источником теплоты в виде теплоэлектронагревателя. Оптимальный угол расположения коллектора к горизонту превышает широту местности на  $10 - 15^{\circ}$ .

Для повышения производительности солнечной установки используется замкнутый контур с естественной или принудительной циркуляцией, который содержит солнечный коллектор (теплоприемник) и аккумулирующую теплоизолированную емкость (рис. 19)

Исследования показывают, что с учетом экономического фактора для широты Минска целесообразно использовать сезонные системы горячего водоснабжения.

### **Солнечное отопление**

Солнечное отопление делится на активное и пассивное.

Активное солнечное отопление основано на применении инженерных систем, которые, как и система горячего водоснабжения, включает контур циркуляции жидкого теплоносителя или воздуха. На практике жидкостные системы солнечного отопления встречаются чаще, чем воздуш-

ные, однако они требуют наличия отопительных приборов и дополнительных мер для защиты от замерзания и коррозии.

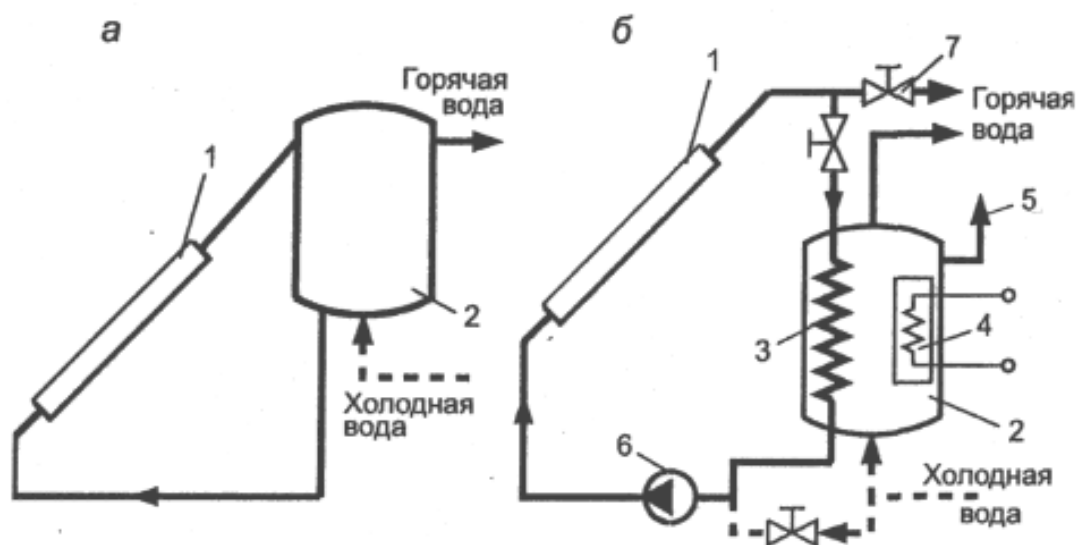


Рис. 19. Принципиальные схемы простейшей одноконтурной с естественной циркуляцией теплоносителя (а) и двухконтурной с принудительной циркуляцией теплоносителя (б) солнечных водонагревательных установок: 1 – солнечный коллектор; 2 – аккумулятор теплоты; 3 – теплообменник; 4 – резервный источник энергии; 5 – предохранительный клапан; 6 – насос; 7 – задвижка

Согласно схеме воздушного отопления в солнечный день с помощью вентилятора организуется циркуляция воздуха по замкнутому контуру через коллектор и галечный аккумулятор. Вечером или в прохладный день реализуется режим, при котором поток холодного воздуха проходит через аккумулятор, воспринимает накопленную теплоту и поступает в отапливаемое помещение. При необходимости воздух дополнительно нагревается с помощью резервного нагревателя.

Система солнечного теплоснабжения дома работает в четырех режимах (рис. 20):

- отопление и аккумулятирование тепловой энергии (а);
- отопление от аккумулятора (б);
- аккумулятирование тепловой энергии (в);
- отопление от коллектора (г).

Для работы с воздушным коллектором наиболее рациональным считается гравийно-галечный аккумулятор. Он дешев, прост в строительстве. Гравийную засыпку можно разместить в теплоизолированной заглубленной цокольной части дома. Теплый воздух нагнетается в аккумулятор с помощью вентилятора. Для дома, площадью  $60 \text{ м}^2$ , объем аккумулятора составляет от  $3$  до  $6 \text{ м}^3$ .

В проекте энергопассивного экодому Белорусского отделения международной академии экологии (БО МАЭ) скатная крыша покрыта сплошным водовоздушным солнечным коллектором (рис. 21). Под домом находится твердотельный суточный и сезонный тепловой аккумулятор. Такие аккумуляторы распространены в Швеции и Норвегии. Другая возможная конструкция – жидкостный аккумулятор внутри дома (15 т воды на 200 м<sup>2</sup> жилой площади). Дом оборудован принудительной системой вентиляции, обеспечивающей воздухообмен и обогрев жилых помещений (основные технические решения запатентованы). Обязательной является система рекуперации тепла при вентиляции [41].

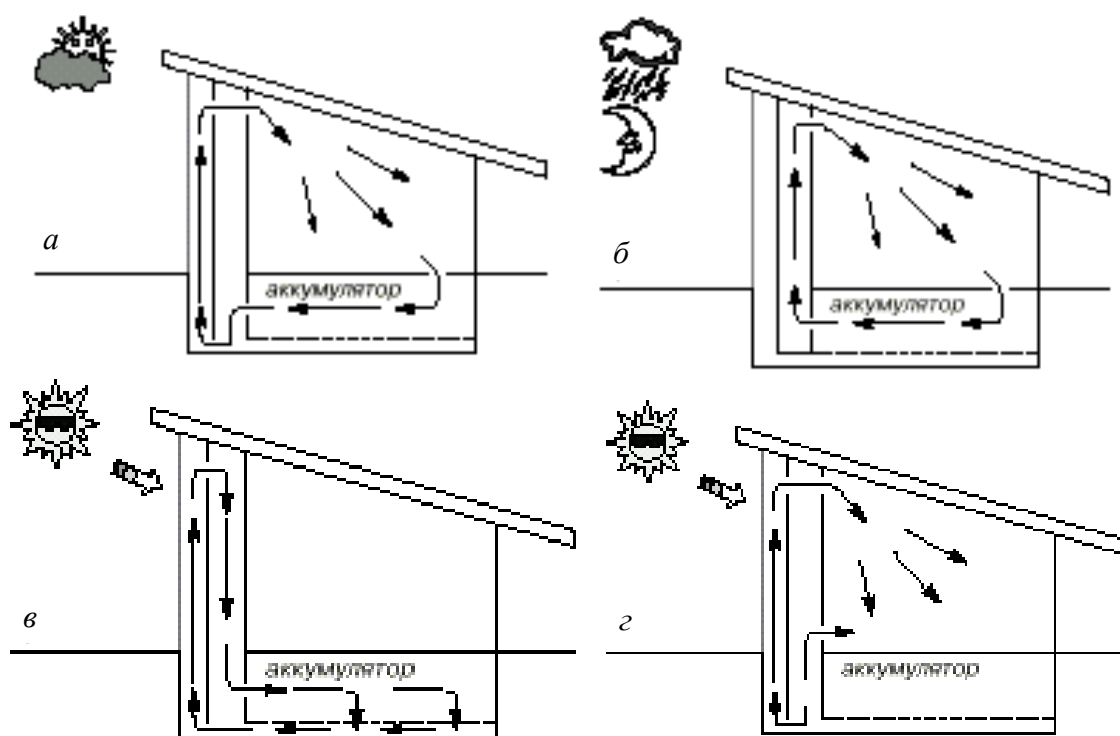


Рис. 20. Солнечный дом

Если проектирование зданий проводить с учетом энергетического потенциала климата местности и условий для саморегулирования теплового режима зданий, то расход энергии на теплоснабжение можно сократить на 20 – 60 %. Так, строительство на принципах «солнечной архитектуры» может снизить удельное годовое теплотребление до 70 – 80 кВтч/м<sup>2</sup>.

Пассивные системы солнечного отопления используют ориентированные в южном направлении остекленные элементы строительных конструкций больших площадей для накопления и переноса теплоты потребителю. Например, строительство зданий с теплоаккумулирующей стеной, рас-

положенной за остеклением. Большая тепловая инерционность строительных стеновых материалов позволяет использовать накопленную теплоту в пасмурные дни и ночное время. Стены также могут являться пассивными солнечными коллекторами, если они будут включать конвективные каналы.

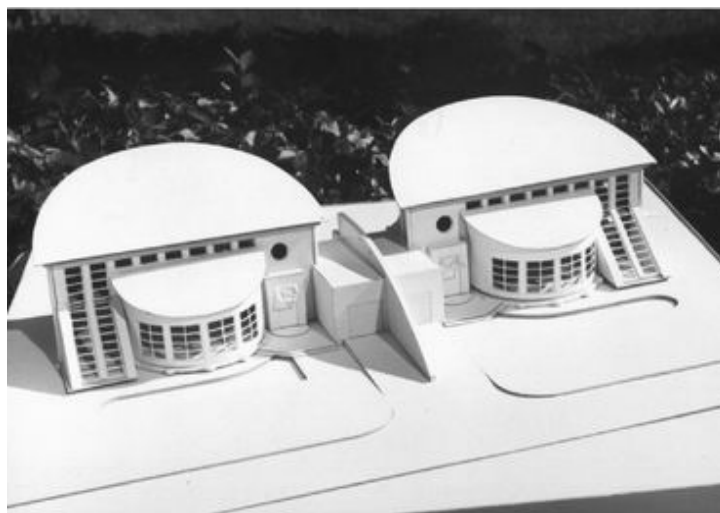


Рис. 21. Проект энергопассивного дома БО МАЭ с активной системой солнечного отопления

### Получение электроэнергии

Преобразование потока солнечной энергии в электричество осуществляется двумя способами: термомеханическим и фотоэлектрическим.

Термомеханический способ основан на передаче теплоты теплоносителю с генерацией пара и дальнейшим ее преобразованием по традиционной схеме в механическую и электрическую энергию.

Для создания больших плотностей потоков солнечной радиации и соответственно тепловой энергии используются солнечные концентраторы. Наиболее эффективные концентраторы солнечного излучения (рис. 22) имеют форму: цилиндрического параболоида (*а*), параболоида вращения (*б*); плоско-линейной линзы Френеля (*в*).

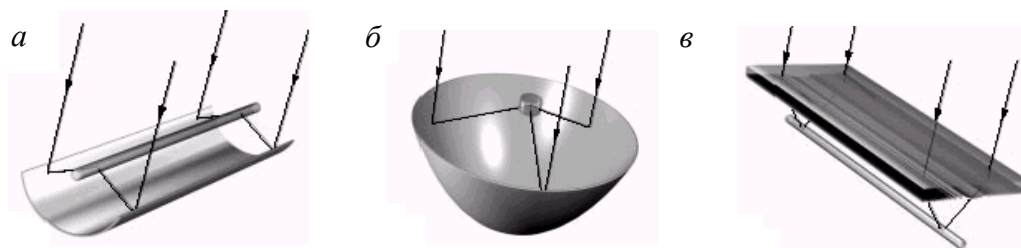


Рис. 22. Формы концентраторов солнечной энергии

В отличие от плоских коллекторов подобные солнечные концентраторы снабжаются системами, следящими за Солнцем. Потоки тепловой энергии фокусируются на теплоприемнике, которым является канал, заполненный теплоносителем. Теплоприемник с теплоносителем может располагаться отдельно от концентратора. Тогда на нем фокусируются солнечные лучи от концентраторов, размещенных на большой площади. По такому принципу, например, работают солнечные электростанции башенного типа, где теплоприемником является паровой котел.

Недостатком рассмотренной конструкции солнечных электростанций является периодический характер их работы. Они работают тогда, когда светит Солнце. Более перспективными являются гибридные солнечно-топливные электростанции с распределенными теплоприемниками.

В основе фотоэлектрического способа прямого преобразования солнечного излучения в электроэнергию лежит явление фотоэффекта. Базовыми элементами данной технологии являются устройства, называемые соответственно фотоэлементами или солнечными элементами. Некоторые из фотоэлементов представляют собой кремниевые полупроводниковые фотодиоды, где происходит разделение положительных и отрицательных носителей заряда при поглощении электромагнитного излучения.

В Беларуси ведется создание отечественной установки на фотоэлементах. Одна солнечная электростанция установлена в Беловежской пушке и отапливает два дома, еще несколько установлено в чернобыльской зоне. Солнечные коллекторы, вырабатывающие тепло, рекомендуется устанавливать в коттеджах и загородных домах. Они экономичнее традиционных угольных котлов.

Создано опытное производство систем горячего водоснабжения, базирующихся на использовании солнечной энергии. Эти устройства включают в себя солнечные коллекторы (их число и площадь может варьироваться в зависимости от требований конкретного проекта) и теплонакопители. Оптимальный для местного климата вариант – система с четырьмя коллекторами – позволяет обеспечить потребности в горячем водоснабжении семью из 4-5 человек. Благодаря большой площади поверхности коллекторов система аккумулирует достаточное количество солнечной энергии даже в пасмурную погоду, а теплонакопитель большой вместимости (более 500 л) позволяет создать стратегический запас горячей воды. В период с марта по октябрь система полностью удовлетворяет потребности в горячей воде. Зимой установку можно интегрировать со стандартной системой отопления. Стоимость оборудования варьируется в пределах 900 – 3500 долл. США.

Кроме того, в Республике Беларусь организовано производство гелиосистем для нагрева воды. Они представляют собой легкие, компактные конструкции, собираемые по модульному принципу. В зависимости от конкретных условий можно получить установку любой производительности. Основой гелиосистем является пленочно-трубочный адсорбирующий коллектор. Он обладает высокой адсорбирующей способностью, благодаря чему даже небольшие дозы солнечного излучения превращаются в полезную тепловую энергию. Теплообменники, входящие в состав систем, изготавливаются из специальных материалов, исключающих коррозию или замерзание. Пробные гелиосистемы устанавливаются на земле, плоских и скатных крышах, в вагонах-бытовках и т.д. Гелиоустановки могут подключаться к централизованной системе отопления или работать автономно с заправкой бака-накопителя требуемой емкости. Приблизительная цена систем составляет 400 долл. США.

Специалисты убеждены, что к 2060 г. доля энергии Солнца на мировом энергетическом рынке превысит 50 %. Наиболее эффективно в странах ЕС солнечные энергоустановки эксплуатируются в Греции, Португалии, Испании, Франции: выработка энергии солнечными энергоустановками составляет соответственно 870 000, 290 000, 255 200, 174 000 МВтч в год.

Наибольшей суммарной площадью установленных солнечных коллекторов располагают США – 10 млн м<sup>2</sup>, Япония – 8 млн м<sup>2</sup>, Израиль – 1,7 млн м<sup>2</sup>, Австралия – 1,2 млн м<sup>2</sup>.

### **Солнечные азростатные электростанции**

На орбите Земли мощность солнечного излучения составляет 1,3 кВт/м<sup>2</sup>. Доступный энергетический потенциал солнечного излучения способен удовлетворить все потребности человечества. Существующие солнечные энергетические установки обладают существенным недостатком – неравномерностью выдаваемой мощности. Это связано с неравномерностью потока солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, по причине вращения Земли вокруг своей оси (светлое и темное время суток), изменения наклона земной оси (смена времен года) и погодных условий (плотность облачного покрова).

По этим причинам масштабное использование солнечной энергии при современных технологиях обязательно подразумевает либо работу солнечных энергетических установок совместно с другими источниками энергии, либо применение аккумулирующих систем, снабжающих потребителя энергией ночью и при пасмурной погоде. Это значительно удорожает солнечные энергетические технологии и резко ограничивает сферу их применения.

В настоящее время существуют фотоэлектрические преобразователи энергии в виде пластин с КПД равным 15 – 20 %. Если такими пластинами закрыть поверхность аэростата и поднять аэростат выше облаков, то в течение светлого времени суток можно по кабелю передавать на поверхность Земли поток электроэнергии практически постоянной мощности. Схема установки дана на рис. 23.

При диаметре аэростата 150 м на его поверхность в светлое время суток падает солнечное излучение мощностью 18 000 кВт, что позволяет вырабатывать 3000 кВт электрической мощности. Размещение аэростатов не отразится заметным образом на природе и инфраструктуре прилегающих территорий, сельском и лесном хозяйстве. Однако остается проблема ночного времени. В темное время суток электроэнергия, понятно, не вырабатывается, и для снабжения потребителей нужны другие источники электроэнергии.

Работы по созданию опытного образца солнечной аэростатной электростанции с фотоэлектрическим слоем ведутся в Национальной лаборатории солнечной энергии в Марселе под руководством доктора Жореса Леграна.

В этой же лаборатории другая группа инженеров под руководством Мишеля Марше разрабатывает проект солнечной аэростатной паротурбинной электростанции.

Для возможности создания коммерческих солнечных аэростатных паротурбинных электростанций Франция приобрела выданный в 2002 г. российский патент № 2184322 на аэростатную солнечную электростанцию с паровой турбиной.

Принципиальная схема такой электростанции показана на рис. 24.

Оболочка аэростата выполнена двухслойной. Солнечные лучи нагревают внутреннюю оболочку аэростата, на которую нанесен поглощающий солнечное излучение слой.

Современные селективные поглощающие материалы способны нагреваться от прямых (неконцентрированных) солнечных лучей до 200°С и более.

Внутри поглощающей оболочки находится водяной пар, нагретый поступающим через оболочку тепловым потоком до 100 – 150°С. Давление пара равно наружному атмосферному давлению.

Внутреннюю поглощающую оболочку аэростата окружает внешняя оболочка, прозрачная для солнечных лучей. Слой газа (воздуха) между оболочками теплоизолирует нагретую внутреннюю оболочку аэростата от наружного воздуха.

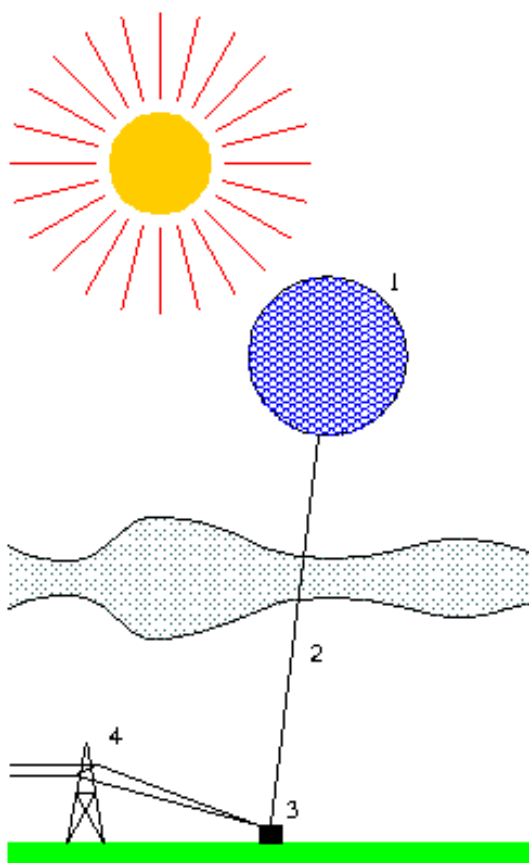


Рис. 23. Схема солнечной аэростатной установки с фотоэлектрическим слоем:  
 1 – оболочка с фотоэлектрическим слоем;  
 2 – электрический кабель;  
 3 – трансформатор;  
 4 – линия электропередачи

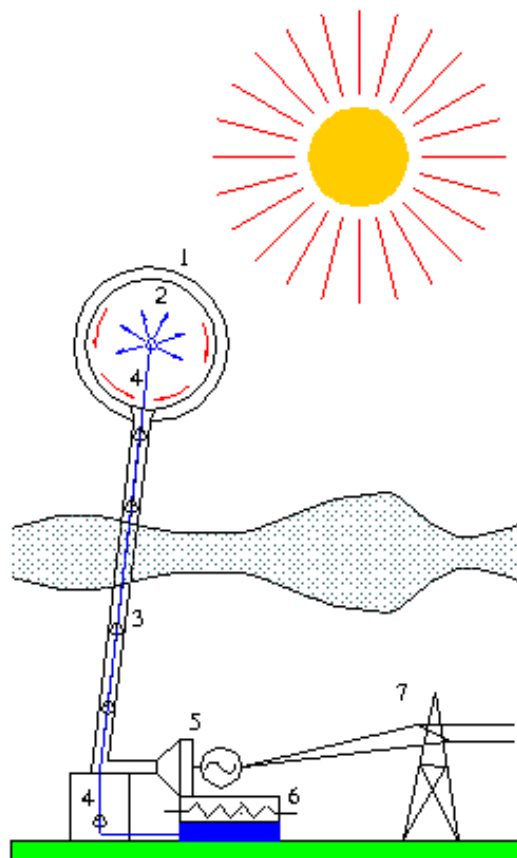


Рис. 24. Схема солнечной аэростатной электростанции с паровой турбиной:  
 1 – прозрачная оболочка; 2 – поглощающая оболочка;  
 3 – паропровод;  
 4 – трубопровод с водяными насосами;  
 5 – паровая турбина; 6 – конденсатор;  
 7 – линия электропередачи

Водяной пар из внутренней поглощающей оболочки по гибкому паропроводу подается в паровую турбину, расположенную на поверхности Земли. Убыль водяного пара из внутренней оболочки аэростата компенсируется питательной водой, которая каскадом насосов подается из конденсатора паровой турбины. Внутри оболочки аэростата вода распыляется и испаряется. Для стандартной атмосферы на высоте 5 км при давлении 0,54 атм. и температуре минус 17,5°С плотность воздуха составляет 0,7 кг/м<sup>3</sup>. Плотность водяного пара при таком же давлении и температуре 150°С составляет 0,3 кг/м<sup>3</sup>. Таким образом, 1 м<sup>3</sup> аэростата способен поднять 0,4 кг. Аэростат диаметром 300 м способен поднять на высоту 5 км груз массой 5600 т. Этого вполне достаточно для удержания оболочки, паропровода, трубопровода питательной воды с каскадом электронасосов и системы раскрепления аэростата. При температуре водяного пара во внутренней оболочке



150°C КПД турбоустановки составит 15 %. Мощность электронасосов, необходимая для подъема питательной воды из конденсатора паровой турбины во внутреннюю оболочку аэростата, составляет 15 % от вырабатываемой электрической мощности. Основным достоинством паровой аэростатной установки является то, что запаса водяного пара, находящегося во внутренней полости аэростата, достаточно для бесперебойной работы паровой турбины в темное время суток. Вследствие подачи водяного пара на турбину и охлаждения за счет теплообмена с окружающим воздухом за ночь подъемная сила аэростата уменьшится на 10 %, что не скажется на положении аэростата. В дневное время за счет нагрева солнечным излучением происходит генерация пара не только для работы паровой турбины, но и для восполнения запаса водяного пара во внутренней оболочке аэростата.

При диаметре оболочки аэростата 300 м паровой турбогенератор способен бесперебойно вырабатывать 5000 кВт. При этом можно совершенно безболезненно изменять мощность турбогенератора в течение суток в соответствии с нуждами потребителя.

Термодинамический цикл такой установки обладает весьма интересной особенностью. При подаче потока пара вниз к поверхности Земли потенциальная энергия пара переходит во внутреннюю энергию, что приводит к увеличению давления и температуры пара перед турбиной. Это в свою очередь повышает термодинамический КПД паротурбинной установки. Этот эффект довольно значителен. Так при перепаде высот между аэростатом и паровой турбиной 5000 м повышение температуры составит 25 С. Термодинамический КПД паротурбинной установки благодаря этому эффекту увеличивается на 5 %, что для энергетических установок является очень значительной величиной.

## **2.4. Экологические аспекты энергосбережения**

### **2.4.1. Взаимосвязь экологии и энергосбережения**

Предметом изучения экологии является охрана окружающей среды. Данное направление связано с энергетикой, так как энергетические объекты могут отрицательно воздействовать на окружающую среду, загрязняя ее.

Окружающая среда включает биосферу, которая охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы (земная кора и верхняя мантия). Загрязнение биосферы может быть уменьшено за счет энергосбережения при рациональном использовании невозобновляемых и возобновляемых источников энергии.

Для лучшего понимания механизма отрицательного воздействия выбрасываемых в атмосферу вредных веществ рассмотрим более подробно ее строение (рис. 25).

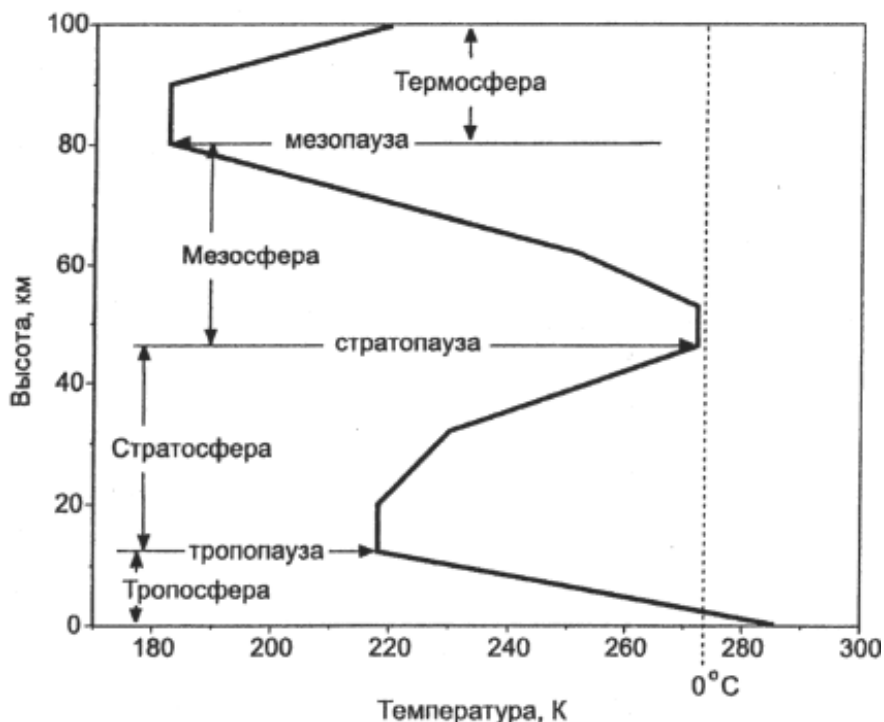


Рис. 25. Строение атмосферы

Атмосфера условно разделяют по высоте на четыре области:

- тропосферу – от 0 до 10 – 12 км с падением температуры до минус 55°C и давления до 41,0 мм рт. ст.;
- стратосферу – от 10 – 12 до 50 – 55 км с ростом температуры до 0°C и падением давления до 8,9 мм рт. ст. в средней стратосфере и до 0,63 мм рт. ст. в верхней;
- мезосферу – от 50 – 55 до 80 – 90 км с падением температуры до минус 90°C и давления до 0,04 мм рт. ст.;
- термосферу, простирающуюся от 80 – 90 до 200 – 300 км с непрерывным повышением температуры до сотен градусов.

Каждая зона атмосферы завершается областью постоянной температуры: тропопаузой, стратопаузой и мезопаузой. Газы, накапливаясь в верхних слоях тропосферы и стратосферы, препятствуют выходу теплового инфракрасного излучения с поверхности Земли, нагретой Солнцем. Атмосфера и поверхность Земли нагреваются, пока уходящие потоки энергии не уравниваются с приходящими.

Это явление представляет собой парниковый эффект (рис. 26), который сопровождается нагревом тропосферы и охлаждением стратосферы.

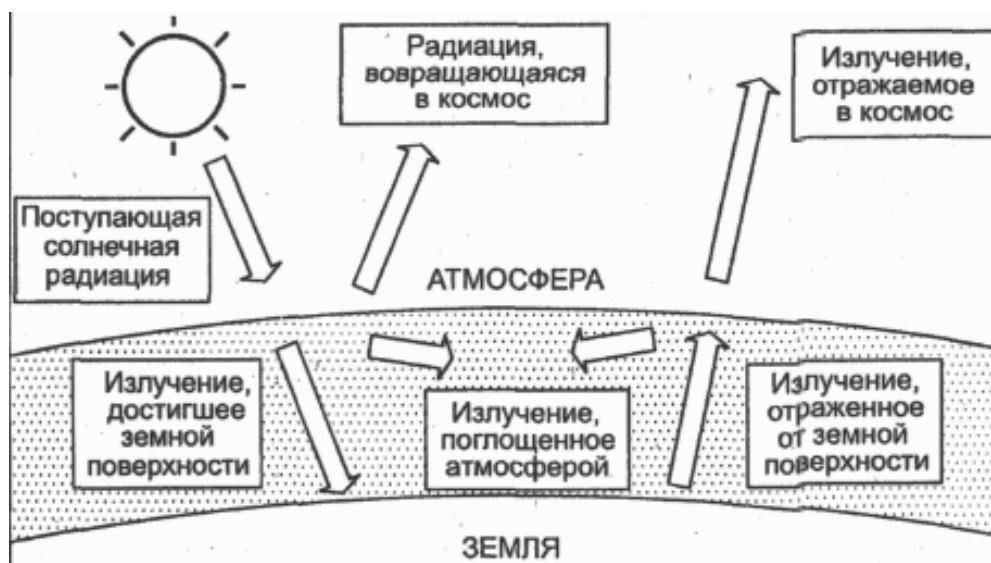


Рис. 26. Происхождение парникового эффекта

В средней атмосфере присутствует озоновый слой. Молекулы озона поглощают солнечное излучение с длиной волн короче 290 нм и инфракрасное излучение с поверхности Земли с длиной волн 9 – 10 мкм, усиливая парниковый эффект.

Таким образом, озоновый слой участвует в обеспечении безопасного уровня ультрафиолетовой радиации и поддерживает устойчивый климат на Земле. В тропосфере и стратосфере озон также оказывает воздействие на антропогенные примеси, поступающие в атмосферу в результате деятельности человека, разрушая их. В совокупности процессы с участием озона обеспечивают оптимальные условия существования флоры и фауны. Неконтролируемые выбросы в атмосферу хлорсодержащих газов и окислов азота истощают и разрушают озоновый слой, что ведет к увеличению поступающего на Землю биологически вредного солнечного ультрафиолетового излучения.

Перечень рекомендованных Международным бюро по защите окружающей среды приоритетных мероприятий в области энергетики, направленных на снижение парникового эффекта, включает в себя:

- более эффективное производство, передача и распределение энергии;
- уменьшение энергоемкости обработки основных материалов;
- внедрение энергоэффективных моторов и приводов;
- повышение эффективности освещения и водяного отопления и, как следствие, снижение потребления первичного топлива;
- использование возобновляемых видов энергии, и в частности фотоэлектрической, солнечно-тепловой, ветровой;

- производство биомассы для замены ископаемого твердого топлива, газификация биомассы;
- внедрение совершенных, энергоэффективных газотурбинных циклов;
- развитие малой гидроэнергетики;
- переход на природный газ;
- переработка городских и сельских отходов.

Одним из направлений экологизации энергосбережения может быть проведение совместного эколого-энергетического аудита и экспертизы и соблюдение экологического законодательства в области энергосбережения.

Как видим, взаимосвязь экологии и энергосбережения выражается простой формулой: экономишь энергию – уменьшается отрицательное воздействие на окружающую среду.

#### **2.4.2. Невозобновляемые источники энергии и окружающая среда**

Объекты энергетики, где в качестве первичной энергии используется углеводородное топливо, являются источниками вредных выбросов в окружающую среду. В процессе горения топлива наряду с выделением тепловой энергии с отходящими газами выбрасывается ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на биосферу (табл. 7).

Воздействие на окружающую среду оказывают также и другие газы, поступающие в атмосферу: пар, метан, хладагенты.

Наиболее эффективным способом снижения вредных выбросов в атмосферу является уменьшение объема сжигаемого топлива за счет рационального использования вторичной энергии.

Таким образом, энергосбережение способствует улучшению экологии окружающей среды. Этот фактор особенно важен для Беларуси, где энергогенерирующие технологии в основном базируются на топливоиспользующих установках.

Рассмотрим некоторые пути снижения потребления топлива.

Утилизация тепловых энергетических отходов непосредственно связана с экологическими мероприятиями, так как за счет этого достигается снижение вредных выбросов пропорционально сэкономленному топливу.

Особенно наглядной и ощутимой является организация оптимальных топочных процессов и утилизации сбросной теплоты в промышленных печах, котельных установках и на других объектах энергетики. Рассмотрим некоторые аспекты данного направления.

**Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами**

Вещества	Характеристика
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	Оказывает влияние на процессы окисления, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей)
Оксид азота (NO <sub>x</sub> )	Оказывает вредное воздействие на здоровье человека и способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что также отрицательно влияет на здоровье человека. Оксид азота вызывает «вымирание лесов», «кислотные дожди»
Моноксид углерода (CO)	Выделяется в результате неполного сгорания топлива. Взаимодействует с другими веществами и оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ)
Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	Образование CO <sub>2</sub> – необходимое условие процесса горения (производства энергии). Экологические законы ограничивают уровень выбросов CO <sub>2</sub> (Киотский протокол 1997 г.). Способствует созданию парникового эффекта
Твердые частицы	Включают сажу и другие несгоревшие материалы. Переносят тяжелые металлы и углеводороды. Могут являться источником выбросов в атмосферу радионуклидов при сжигании древесины из чернобыльской зоны

Ископаемое топливо пока остается преобладающим источником энергии, получаемой в форме теплоты при его сжигании. Исследования, проведенные в Дании, показывают, что комбинированное производство электрической энергии и теплоты на ТЭЦ является самым важным направлением в снижении выбросов CO<sub>2</sub>. При этом снижение выбросов CO<sub>2</sub> в среднем составляет 500 кг/МВт·ч при производстве 1 МВт·ч электроэнергии по комбинированному циклу в сравнении с отдельным производством электрической и тепловой энергии на ТЭС и в котельных. Кроме диоксида углерода уменьшается количество вредных выбросов SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> (рис. 27).

Уменьшение выбросов NO<sub>x</sub> может быть также достигнуто путем подмешивания части отходящих дымовых газов к воздуху, подаваемому на горение. Для этого следует организовать рециркуляцию дымовых газов.

Внутреннее использование тепловых энергетических отходов в котельных установках и промышленных печах для подогрева питательной воды и предварительного подогрева первичного воздуха до 200 – 400°С дает реальную экономию топлива. Так, при подогреве воздуха реальная экономия топлива в среднем может достигать 25 % (рис. 28).

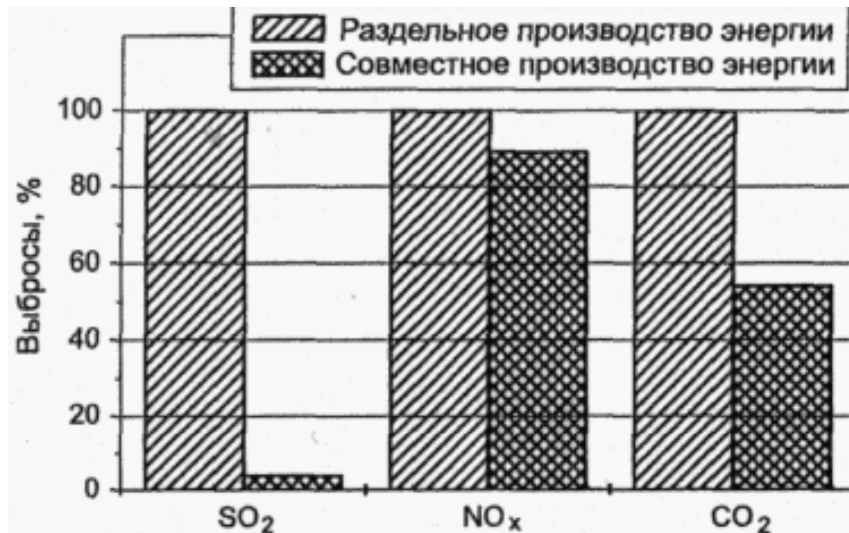


Рис. 27. Влияние технологии производства теплоты и электроэнергии на загрязнение окружающей среды

Поддержание оптимального состава топливовоздушной смеси позволяет достичь максимально возможной температуры горения, что снижает потребление топлива. При увеличении коэффициента избытка воздуха до 2 температура горения уменьшается на 40 % (рис. 29).

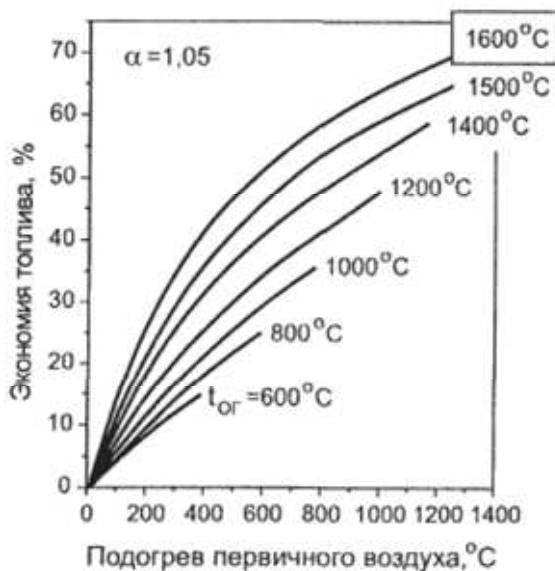


Рис. 28. Экономия топлива за счет подогрева первичного воздуха в зависимости от температуры дымовых газов

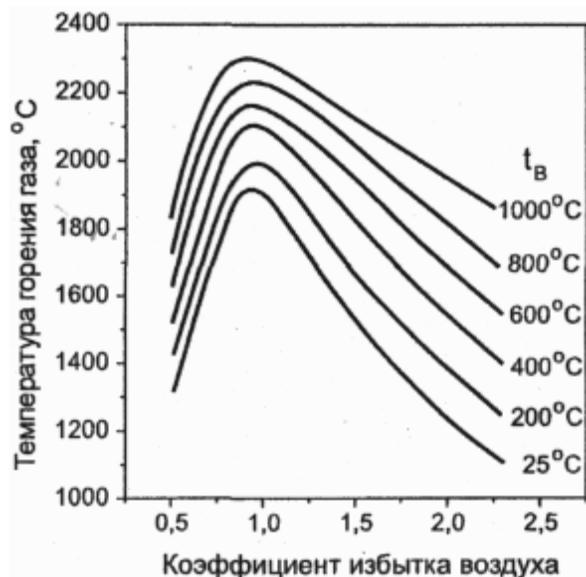


Рис. 29. Влияние коэффициента избытка и подогрева воздуха на температуру горения

Кроме того, при избытке воздуха дополнительное потребление топлива возрастает до 25 % в зависимости от температуры отходящих газов.

Оптимальный состав топливно-воздушной смеси можно поддерживать с помощью горелок с автоматическим управлением. Для этого дополнительно применяются системы сбора информации о химическом составе отходящих дымовых газов, ее обработка и на этой основе осуществляется автоматическое регулирование.

Контроль эффективности сгорания топлива базируется на измерении содержания  $\text{CO}_2$  в отходящих дымовых газах. Считается, что при оптимальном сгорании природного газа получается от 8 до 9,5 %  $\text{CO}_2$ , а при сгорании мазута от 10 до 12,5 %.

Вместе с тем данные значения концентраций углекислого газа могут быть зафиксированы как при полном сгорании топлива ( $\alpha > 1$ ), так и при его недожоге ( $\alpha < 1$ ), т.е. возможна неоднозначность определения эффективности сжигания топлива на основе измерения только  $\text{CO}_2$  (рис. 30). Поэтому рекомендуется дополнительно измерять в отходящих дымовых газах и содержание кислорода. Для оптимального режима горения оно должно иметь минимальное значение.

Сжигание топлива с повышенной влажностью требует дополнительного избытка воздуха, что приводит к снижению температуры в зоне горения, следовательно, и эффективности процесса горения (рис. 31). Подогрев первичного воздуха до  $200^\circ\text{C}$  обеспечивает повышение температуры горения на 7 %.

Значительным источником вредных выбросов является транспорт. В некоторых странах на производство топлива для транспорта расходуется до 50 % потребляемой нефти. Автомобильные выхлопные газы содержат такие вредные вещества, как окись углерода, летучие органические соединения, окись азота и свинец. Ядовитые выхлопные газы и свинец отрицательно влияют на нервную систему человека. Разработка технологий производства чистого горючего и улучшенных двигателей с минимальным потреблением топлива позволяет уменьшить загрязнение от транспортных средств. Количество потребляемого топлива транспортными средствами, как и в энергетике, зависит от оптимального состава топливовоздушной смеси.

Снижение потерь теплоты через ограждения агрегатов и устройств, которые используются при ее производстве, транспортировке и потреблении, также уменьшает расход топлива. Любые потери теплоты требуют компенсации, так как потребитель должен получить необходимое количество энергии для проведения технологических процессов или создания комфортных условий для работы, учебы, отдыха.

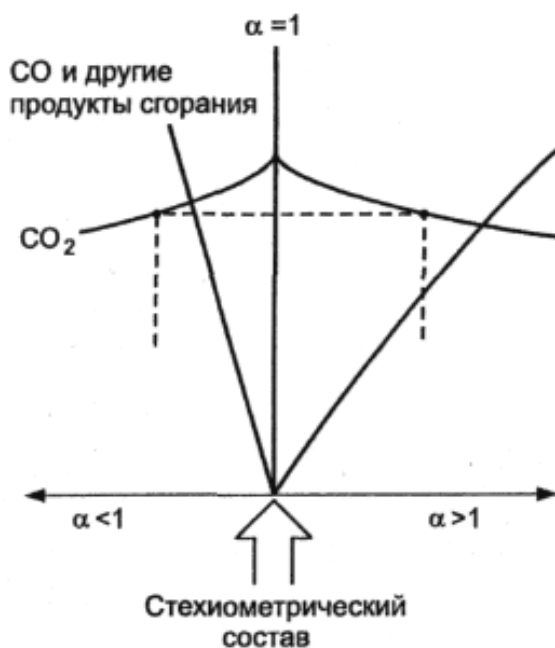


Рис. 30. Неоднозначность определения эффективности сжигания топлива на основе измерения только  $\text{CO}_2$

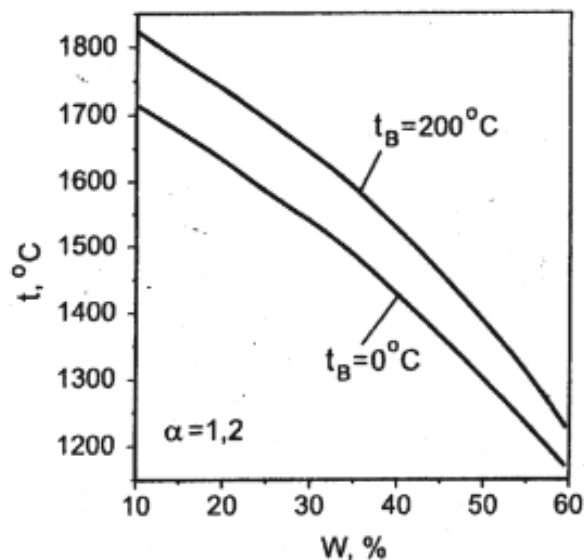


Рис. 31. Влияние влажности древесного топлива и предварительного подогрева воздуха на температуру горения

Уменьшение потребления энергии может быть достигнуто и за счет совершенствования технологических процессов, использования современного основного и вспомогательного энергосберегающего оборудования.

### 2.4.3. Возобновляемые источники энергии и окружающая среда

Имеются диаметрально противоположные мнения о влиянии возобновляемых источников энергии на окружающую среду. Рассмотрим источники, которые являются перспективными для Беларуси.

Большую роль в энергообеспечении играет **биомасса**. В мире приблизительно половина населения готовит себе пищу, используя топливо из биомассы. Использование биомассы в виде топлива дает преимущества для экологии, так как при сгорании биомассы выделяется не больше  $\text{CO}_2$ , чем при ее естественном разложении в природе.

Переработка навоза путем анаэробного сбраживания уменьшает выделение азота в грунтовые воды и метана в атмосферу. Биомасса может быть использована в сочетании с органическим топливом – углем, торфом. Для утилизации биомассы с целью получения энергии используются современные устройства: топки с «кипящим» слоем, газогенераторы. Однако необходимо уделять внимание способам сжигания биомассы, так как неко-



торые из них в быту могут приводить к высокому уровню загрязнения в помещении, например, использование очагов без установки труб, каминов с неправильно сконструированными дымоходами.

Наряду с биомассой в улучшении экологической обстановки значимую роль могут сыграть и другие возобновляемые источники энергии, например, Солнце и ветер.

**Гелиоустановки** оказывают минимальное воздействие на окружающую среду.

Следует, однако, указать, что под его влиянием происходит разрушение некоторых материалов, что требует их замещения, связанного с использованием энергии. К таким материалам, например, относятся некоторые полимеры. Кроме дополнительного потребления энергии на их производство возникает проблема захоронения и переработки.

**Ветроэнергетические установки** оказывают значительно меньшее отрицательное воздействие на окружающую среду, чем замещаемые ими энергогенерирующие технологии на основе углеводородного топлива.

Вместе с тем строительство и эксплуатация ВЭУ связаны с необходимостью отчуждения земель (в том числе и сельскохозяйственного назначения) и изменением окружающего ландшафта. Кроме того, ВЭУ создают шум и вибрации, являются источником электромагнитного излучения. Шум вызывает раздражение, мешает работе, может приводить к функциональным изменениям в организме человека. Электромагнитное излучение создает радио- и телепомехи. Чтобы избежать этих воздействий, требуется создание санитарной зоны от нескольких сот метров до 2 км. В странах, где используются ветроэнергетические установки, введены ограничения по шуму (табл. 8).

Таблица 8

**Предельные нормы по шуму ветроэнергетических установок**

Страна	Промышленная зона, дБ	Сельские районы, дБ	Смешанная зона, дБ	Жилые квартиры, дБ
Дания	-	45	-	40
Германия:				
день	65	50	60	55
ночь	50	35	45	40
Голландия:				
день	-	40	50	45
ночь	-	30	40	35

Наивысшая выносливость к шуму у человека составляет 130 дБ. Исследования показывают, что животные уживаются с ВЭУ, а удачно выбранное для их размещения место создает минимальную опасность для птиц. Соблюдение требований по шуму и благоприятное размещение ВЭУ сводит ущерб, наносимый окружающей среде, к минимуму.

Развитие **гидроэнергетики** требует создания водохранилищ, что сопряжено с отчуждением земель, в том числе ценных для производства сельхозпродукции и развития животноводства, и их затоплением. В результате этого меняется инфраструктура в районе гидроэлектростанции, возрастает поверхность зеркала воды, изменяется ее температура по течению ниже плотины. Летом вода более холодная, а зимой – теплая. Это воздействует на микроклимат, так как повышается влажность. Кроме того, плотины препятствуют продвижению рыбы в верховье рек во время нереста. Чтобы возместить ущерб, требуется строить специальные водоводы.

Одной из проблем использования **геотермальных** источников для нужд теплоснабжения является то, что они работают по разомкнутой схеме. И если засоление термальных вод значительное, сбросные воды будут также приводить к засолению земли.

В целом при соблюдении всех требований по охране окружающей среды возобновляемые источники энергии оказывают на нее минимальное воздействие. Кроме того, затраты на производство возобновляемой энергии постоянно снижаются, и она со временем может стать конкурентоспособной с источниками на ископаемом топливе [44].

### 3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

#### 3.1. Транспортировка тепловой энергии

Передача теплоты от источника к потребителям осуществляется с помощью систем теплоснабжения, которые включают источник, тепловую сеть и потребителей (рис. 32). Тепловая сеть включает систему трубопроводов (теплопроводов), по которым теплоноситель (горячая вода или пар) переносит теплоту от источника к потребителям и возвращается обратно к источнику.

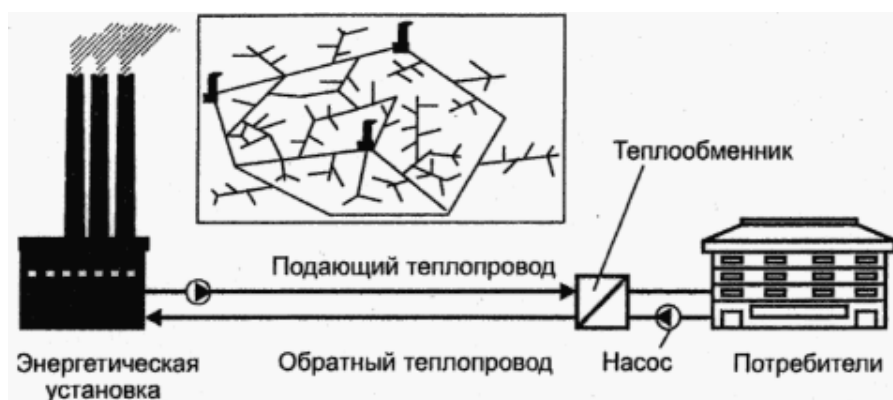


Рис. 32. Принципиальная схема централизованного теплоснабжения и тепловой сети

Реальные тепловые сети отличаются чрезвычайной разветвленностью и могут включать несколько источников теплоты – ТЭЦ или котельные. Отдельные магистрали таких сетей связаны перемычками и имеют замкнутые участки, что повышает надежность снабжения теплотой.

Как показывает практика, в стандартных теплосетях по пути от ТЭЦ к отапливаемому зданию теряется до 40 % тепла. Большие потери тепловой энергии связаны с низким качеством тепловой изоляции – минеральной ваты, утечкой тепла, поэтому в настоящее время на первый план выходит реконструкция существующих теплопроводов. Речь идет о замене старых труб на новые, эффективно утепленные – предварительно теплоизолированные трубы.

Предизолированные трубы изготавливаются в заводских условиях и конструктивно включают (рис. 33):

- стальную трубу для транспортировки энергоносителя;
- тепловую изоляцию из пенополиуретана с коэффициентом теплопроводности от 0,02 до 0,027 Вт/(м·К);
- защитный кожух из пластмассы.



Рис. 33. Схема элемента предварительно изолированного тепловпровода

На всем протяжении такого трубопровода проходят специальные датчики, которые в случае нарушения целостности системы посылают сигнал на диспетчерский пункт. Это позволяет оперативно определять места повреждения с точностью до 1 м.

Предизолированные трубы рассчитаны на эксплуатацию в течение 30 и более лет. При укладке систем теплоснабжения с применением таких труб теплопотери не превышают 3 % от транспортируемого теплоносителя, что более чем в 10 раз позволяет

уменьшить потери теплоэнергии при транспортировке.

Предизолированные трубы характеризуются бесканальной прокладкой. Для сведения тепловых потерь к минимуму при монтаже тепловпроводов предусмотрена технология герметизации швов на стыках и других элементов – задвижек, переходников.

Мероприятия по уменьшению потерь теплоты в окружающую среду при транспортировке тепловой энергии можно свести к следующим направлениям:

- применение тепловпроводов с высокими теплоизоляционными свойствами;
- понижение уровня температур теплоносителя без ущерба для потребителя;
- ликвидация утечек теплоносителя;
- использование гибких систем регулирования отпуска и распределения теплоты.

Перспективным направлением является распространение индивидуальных автоматизированных отопительных систем средней и большой мощности для многоквартирного жилья. Эксперты полагают, что такие системы – реальная альтернатива «подвальным» котельным, которые в последнее время стали «пороховыми бочками» для старого жилья.

### 3.2. Поквартирное отопление

Индивидуальные квартирные отопительные аппараты или модульные котельные, обслуживающие одно здание, раньше использовались пре-

имущественно для отопления и горячего водоснабжения частных домов, а сегодня нашли применение и в городских многоэтажках. До недавнего времени индивидуальные системы теплоснабжения разрешалось использовать в зданиях не выше 5 этажей, но после внесенных изменений в стандарт «Жилые здания» отметка поднялась до 26,5 м – это значит, что они могут применяться и в 9-10-этажных домах.

Основными элементами поквартирного отопления являются двухконтурный отопительный аппарат (для отопления и подогрева воды), системы подачи воздуха и дымоудаления, отопительные приборы (радиаторы, конвекторы). В качестве источника тепловой энергии используется природный газ. Такие системы теплоснабжения внедрены фактически во всех регионах Беларуси. Уже более 6 тыс. городских квартир оборудованы индивидуальными отопительными аппаратами (в быту их называют «котлами»).

Индивидуальное квартирное теплоснабжение имеет массу преимуществ в сравнении с традиционным централизованным. Плюсом является то, что владелец «личного» котла получает возможность поддерживать в помещении комфортный для него температурный режим – отключать подачу тепла, когда на улице тепло, и начинать «отопительный сезон», когда похолодало. Кроме того, жильцы могут запрограммировать отопительный аппарат на работу в щадящем режиме. Например, когда хозяев нет дома, установка поддерживает температуру 14-15°C, а к моменту их возвращения поднимает до 21°C. Таким образом, потребители платят не за отпущенное им тепло по утвержденным тарифам в зависимости от площади квартиры, а по показаниям газового счетчика за реально потребленную энергию, что значительно снижает расходы на коммунальные услуги за отопление и подогрев воды. Такая система, безусловно, стимулирует энергосбережение.

Республиканское унитарное предприятие «Институт БелНИИС» провело сравнительный анализ фактических затрат на отопление и горячее водоснабжение жильцов равных по площади квартир в двух одинаковых «девятиэтажках» с наружными стенами из газосиликатных блоков, но с различными системами теплоснабжения – централизованной и индивидуальной поквартирной. Исследование показало, что стоимость этих услуг в расчете на один квадратный метр отапливаемой площади во второй системе приблизительно на 40 % меньше, чем в первой.

Очевидным преимуществом является и то, что индивидуальное отопление снимает проблемы по бесперебойному обеспечению горячей водой, а значит, не придется терпеть неудобства, связанные с отключением горячего водоснабжения из-за профилактики централизованного водопровода.

Новое отопительное оборудование отдаленно напоминает газовые колонки для подогрева воды, которые устанавливались еще в советские годы.

На смену устаревшим газовым колонкам пришли котлы с закрытой камерой сгорания. В отличие от своих предшественников эти отопительные аппараты в процессе работы не сжигают кислород в помещении, а по воздуховодам «забирают» его с улицы, не уменьшая количество кислорода в квартире. Кроме того, в новом варианте индивидуальной системы теплоснабжения дымовые газы, образующиеся в процессе горения, удаляются по общей дымовой трубе, расположенной внутри дома. Такое «новшество» не нарушает архитектуру строения.

В отличие от прежних, в котлах нового поколения розжиг осуществляется не с помощью зажженной спички, а автоматически: чтобы его запустить, достаточно нажать нужную кнопку. Кроме того, современное оборудование более безопасно в эксплуатации: в случае возникновения технических неисправностей система самостоятельно отключается.

Первое в Беларуси жилое здание с применением отопительных ноу-хау было построено в Гомеле в молодежном жилом комплексе (МЖК) «Солнечный». 74-квартирный дом, запроектированный по системе «каркас со скрытым ригелем» (серия Б1.020.1-7), введен в эксплуатацию в июне 2005 года. В данном здании внедрено индивидуальное квартирное теплоснабжение с использованием двухконтурных отопительных аппаратов с закрытой камерой сгорания и коллективной дымовой трубой (на 8-9 котлов по стояку). Наружные стены выполнены из блоков ПГС, произведенных Гомельским КСМ. В полу квартиры для звуко- и теплоизоляции под стяжкой уложен пенопласт толщиной 30 мм. Окна деревянные, с двухкамерными стеклопакетами.

Хорошая теплоизоляция наружных перекрытий и окон даже в зимний период позволяет жильцам, уходя на работу, переводить котлы в энергосберегающий режим работы. То есть устройство начнет греть только в том случае, если температура в помещении опустится ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ . Хотя, как показывает практика, даже при выключенном отоплении меньше  $+15^{\circ}\text{C}$  в квартирах не бывает.

Благодаря малой инерционности системы после включения котла помещения нагреваются до нормальной температуры за 20 – 30 минут. При этом соседние квартиры «не страдают» от повышенного расхода газа.

Комфортнее пользоваться и горячим водоснабжением: каждый жилец сам выставляет на своем котле необходимую температуру воды от  $+40$  до  $+90^{\circ}\text{C}$ .

В МЖК «Солнечный» совместно с РУП «Институт БелНИИС» было проведено исследование экономической эффективности индивидуальной системы теплоснабжения. Оно основывалось на годовом потреблении газа в квартирах-представителях, расположенных в доме жилого комплекса.

Мониторинг этого дома показал, что по потреблению газа квартиры условно можно разделить на три категории:

I – жильцы экономно расходуют газ;

II – жильцы неэкономно расходуют газ;

III – жильцы временно не проживают, но в зимнее время поддерживают температуру внутри квартиры на уровне 15°C.

Для этих категорий квартир расход газа в м<sup>3</sup> на м<sup>2</sup> площади квартиры с учетом пищевого приготовления составляет:

для I – 8,4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>; II – 14,4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>; III – 0,2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

Таким образом, реальная экономия газа при поквартирной системе теплоснабжения значительно больше, чем расчетная.

Данные исследования еще раз доказали, что при индивидуальной квартирной системе теплоснабжения эксплуатационные затраты почти в два раза ниже, чем при централизованной.

Индивидуальное теплоснабжение позволяет избежать потери теплоты при транспортировке по тепловым сетям, в то время как ТЭЦ еще по дороге к потребителю растрчивает 10 – 20 % (а в старых теплосетях – до 50 %) тепловой энергии.

По заданию Минстройархитектуры РУП «Институт БелНИИС» проводило экспериментальные исследования систем автономного поквартирного отопления на газовом топливе на предмет их пожаро-, гигиенической и экологической безопасности. На основании этих исследований найдены оптимальные решения систем дымоудаления и подачи воздуха. Так что современную систему индивидуального отопления вполне можно назвать совершенной.

Кроме того, в республике налажено производство труб из нержавеющей стали, индивидуальных отопительных аппаратов «Альфа-Калор», необходимых для индивидуальных систем отопления, которые по своим характеристикам, функциям и надежности не уступают зарубежным аналогам. Бесспорно, у Беларуси есть потенциал для дальнейшего внедрения индивидуальных отопительных систем в многоэтажных зданиях.

В зоне обслуживаемой ТЭЦ не следует внедрять системы индивидуального квартирного теплоснабжения, т.к. ТЭЦ вместе с электрической энергией вырабатывает и практически бесплатную тепловую энергию в виде горячей воды, которая получается в результате охлаждения турбин.

Зимой она используется для отопления жилых зданий, а летом уходит в окружающее пространство при охлаждении в градирнях. Отказываться от этого потенциала экономически нецелесообразно.

Оправдано внедрение индивидуальной системы отопления при возведении многоквартирных жилых домов вне зоны действия ТЭЦ или в том случае, если ее мощности недостаточно для теплоснабжения здания.

В сельской местности, где низкая плотность застройки и отсутствует развитая инфраструктура по обслуживанию тепловых сетей, для многоквартирных, блокированных и многоэтажных жилых домов целесообразно применять системы индивидуального квартирного теплоснабжения с установкой индивидуального отопительного оборудования. При этом в одноэтажных домах системы теплоснабжения (отопления и горячего водоснабжения) должны быть в первую очередь ориентированы на использование местных видов топлива [23].

### **3.3. Тепловые насосы**

Тепловые насосы – современная технология энергосбережения и экономии энергоресурсов, источник получения альтернативной тепловой энергии систем отопления и горячего водоснабжения для коттеджей и производственных помещений.

Принцип действия теплового насоса (рис. 34) аналогичен принципу действия холодильника, разница лишь в том, что в случае теплового насоса аккумулируется не холод, а тепло. Тепловой насос имеет четыре основных элемента: испаритель, компрессор, конденсатор и сбросной клапан. В испарителе хладагент нагревается до температуры 6 – 8°C, от окружающей среды (земли, воды, воздуха), закипает и испаряется. Полученный пар сжимается компрессором, и при росте давления температура хладагента поднимается до 35 – 65°C. Эта температура отдается через теплообменник конденсатора рабочей жидкости отопительного контура и хладагент обратно конденсируется. Сбросной клапан сбрасывает давление в конденсаторе, перепуская хладагент в испаритель. Цикл замыкается.

#### **Источники тепла и варианты установки тепловых насосов**

Для рационального использования тепла из окружающей среды в распоряжении имеются такие источники тепла, как грунт, вода и воздух. Все они аккумулируют солнечную энергию, так что вместе с ними косвенно используется солнечная энергия.



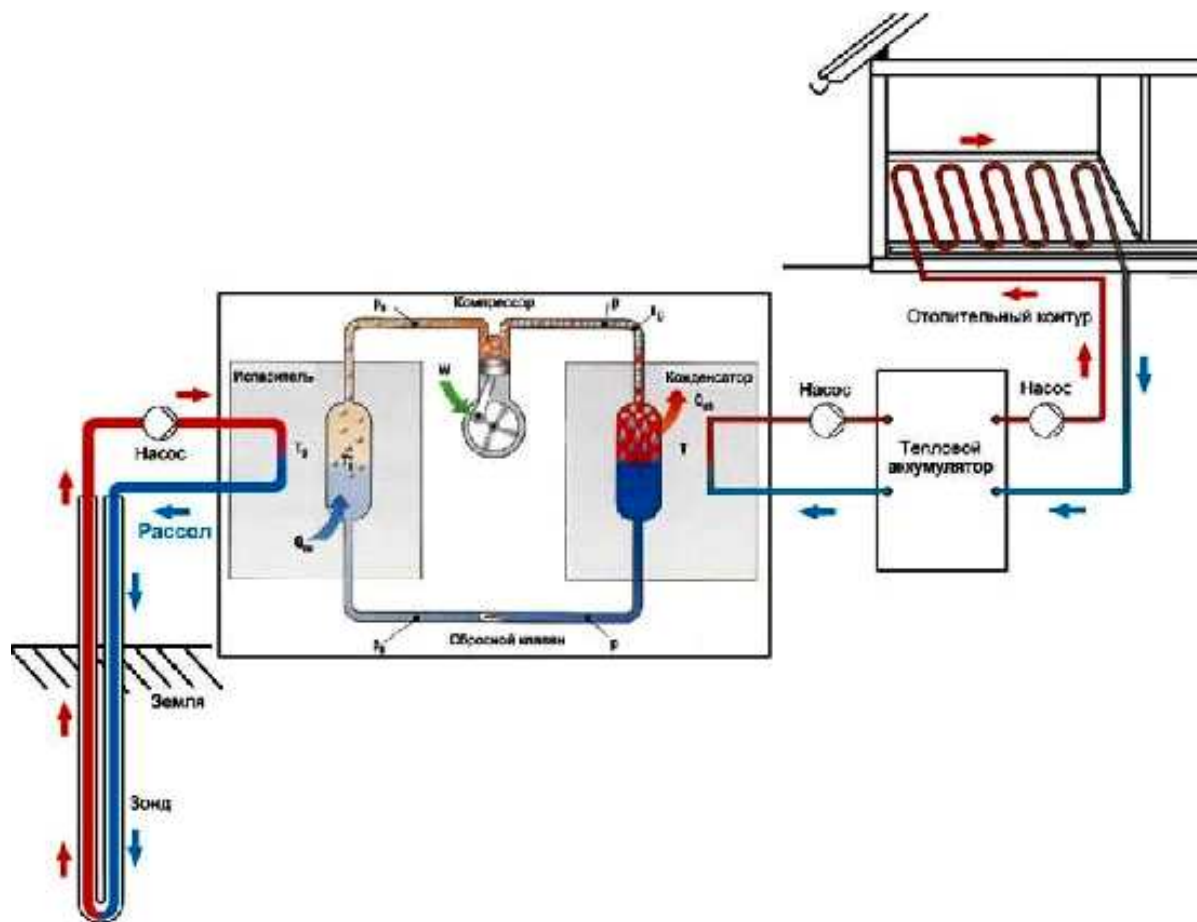


Рис. 34. Принципиальная схема системы отопления жилого дома с применением теплового насоса [34]

Грунт аккумулирует солнечную энергию. Эта энергия воспринимается грунтом либо непосредственно в форме солнечной радиации, либо косвенно в форме тепла, получаемого от дождя или из воздуха. Грунт имеет свойство сохранять солнечное тепло в течение длительного времени, что ведет к относительно равномерному уровню температуры источника тепла на протяжении всего года, это обеспечивает эксплуатацию теплового насоса с высоким коэффициентом мощности (КПД).

Аккумулированное грунтом тепло передается вместе со смесью из воды и антифриза, точка замерзания которой должна находиться примерно на уровне минус  $15^{\circ}\text{C}$  (необходимо придерживаться данных изготовителя), через горизонтально проложенные грунтовые теплообменники (которые также называются грунтовыми коллекторами) или через вертикально расположенные теплообменники (грунтовые зонды) (рис. 35, 36). В районах с большой глубиной промерзания использование горизонтальных грунтовых коллекторов недопустимо. Поэтому единственным приемлемым вариантом остаются вертикальные грунтовые зонды. Подобные установки, как правило, эксплуатируются моновалентно.

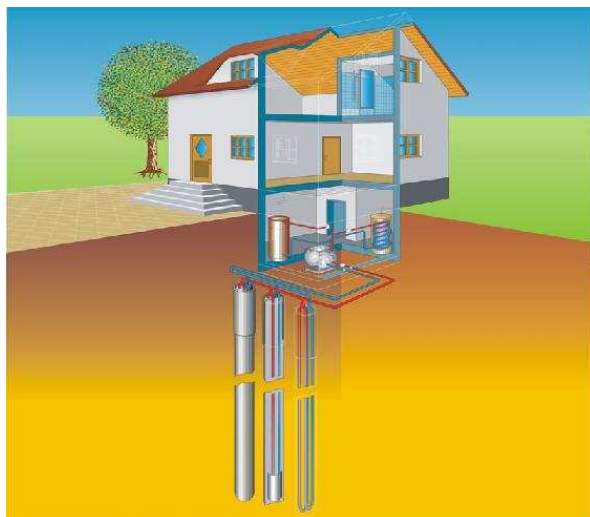


Рис. 35. Грунтовый зонд

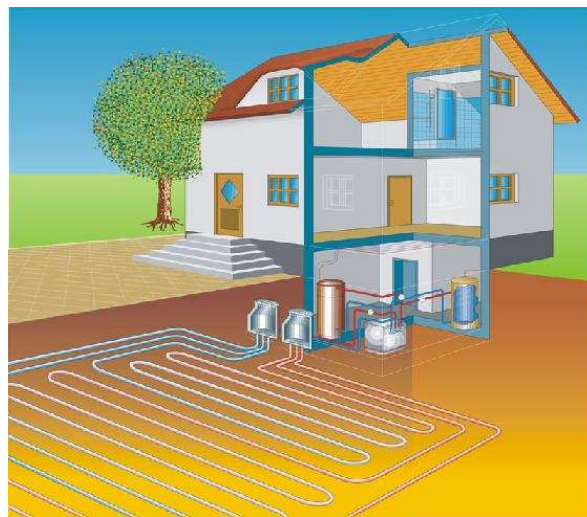


Рис. 36. Грунтовый коллектор

Грунтовые воды – хороший аккумулятор солнечного тепла. Даже в холодные зимние дни они сохраняют постоянную положительную температуру. В этом их преимущество. По причине неизменного температурного уровня источника тепла коэффициент мощности теплового насоса остается высоким в течение всего года.

Если грунтовые воды не содержат кислорода, но имеют высокое содержание железа и марганца, то колодцы могут разрушаться. В этих случаях нельзя допускать контакта грунтовых вод с окружающим воздухом или необходимо соответствующим образом обработать воду.

Для использования тепла необходимо построить подающий колодец и водопоглощающий или инфильтрационный. Для работы тепловых насосов при определенных условиях могут использоваться озера и реки, т.к.

они тоже выступают в роли аккумуляторов тепла. В этом случае следует предусмотреть промежуточный контур (рис. 37).

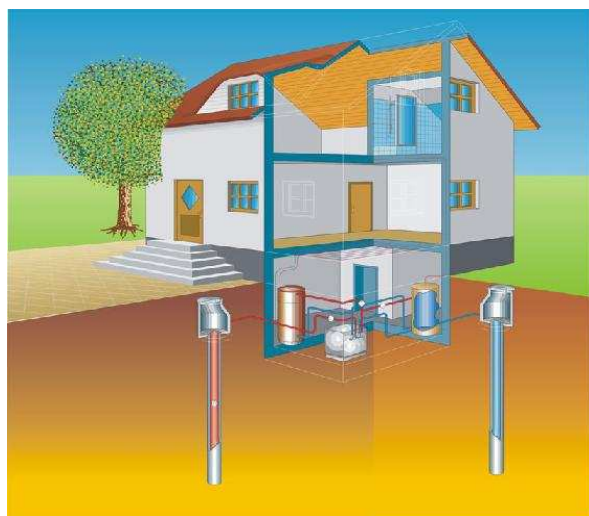


Рис. 37. Скважина

Тепловые насосы воздух/вода в настоящее время могут эксплуатироваться почти круглый год (до минус 12°C), однако при низких температурах коэффициент мощности резко уменьшается.

Окружающий воздух особенно легко использовать в качестве источника тепла, он имеется везде

и в неограниченном количестве. В данном контексте под окружающим воздухом понимается атмосферный воздух. Использование воздуха внутри зданий в качестве источника тепла (отопление) для жилых домов, как правило, исключается. Его использование имеет смысл только в специальных случаях, например, для утилизации тепла отходящих газов на ремесленных предприятиях или в промышленности.

В случае насосов, использующих тепло окружающего воздуха, расчет размеров источника тепла задается конструкцией или размером установки. Требуемое количество воздуха подается вентилятором (который встроен в установку) на испаритель через воздушные каналы, при этом происходит охлаждение воздуха (рис. 38, 39).

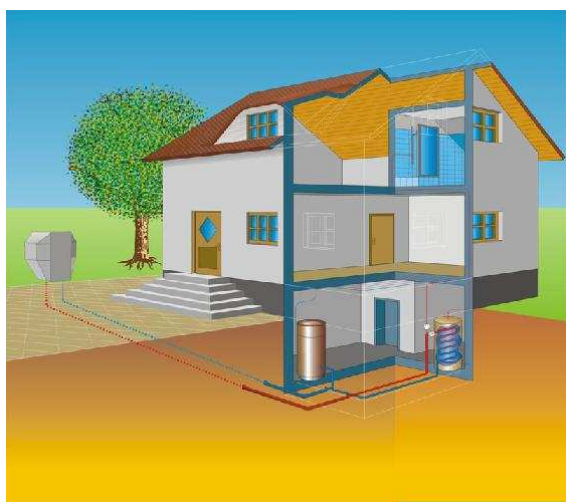


Рис. 38. Наружная установка



Рис. 39. Внутренняя установка

Преимущества тепловых насосов. Тепловой насос представляет эффективную замену котлу на жидком, газовом топливе или электрическому отоплению. Для хорошо спроектированного и построенного дома площадью  $180 \text{ м}^2$  необходимо  $10 - 12 \text{ кВт}$  тепловой энергии, которую можно получить, опустив 2 зонда в землю на глубину  $100 \text{ м}$ , для этого необходим участок земли размером  $6 \times 6 \text{ м}$ .

Преимущества теплового насоса перед другими источниками теплоснабжения [34]:

1. **Экономичность.** Низкое энергопотребление достигается за счет высокого КПД теплового насоса (от  $300$  до  $700 \%$ ) и позволяет получить на  $1 \text{ кВт}$  затраченной электрической энергии  $3 - 7 \text{ кВт}$  тепловой энергии. Система требует минимум электроэнергии для поддержания комфортной температуры жилья, а также получения достаточного запаса горячей воды.

Система исключительно долговечна, срок эксплуатации грунтового зонда может достигать 100 – 150 лет; отопительного контура 100 лет. Непосредственно в самой установке единственной движущей частью является компрессор, срок службы которого составляет 15 лет, и который можно легко заменить по истечении срока его эксплуатации. Отсутствие необходимости в закупке, транспортировке, хранении топлива и расходе денежных средств, связанных с этим. Высвобождение значительной территории, необходимой для размещения котельной, подъездных путей и склада с топливом. Срок окупаемости оборудования не превышает 7 – 10 отопительных сезонов.

**2. Комфорт.** Тепловой насос работает устойчиво. Колебания температуры и влажности в помещении минимальны. Не требует специальной вентиляции помещений, где происходит нагрев воды и теплоносителя. Абсолютно взрыво- и пожаробезопасен. Обслуживание установок заключается в сезонном техническом осмотре и периодическом контроле режима работы.

**3. Экология.** Экологически чистый метод отопления и кондиционирования, т.к. не производится эмиссия CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и других выбросов, приводящих к нарушению озонового слоя и кислотным дождям. Отсутствуют аллергено-опасные выбросы в помещение, т.к. нет сжигаемого топлива и не используются запрещенные хладагенты.

Из сравнительных характеристик (табл. 9) можно сделать соответствующие выводы:

За 10 лет эксплуатации теплового насоса можно получить экономию, по сравнению с электрическим отоплением – 35 тыс. долл., за 15 лет – 60 тыс. долл., за 20 лет – 87 тыс. долл.

Кроме прямого экономического эффекта, тепловой насос абсолютно экологически безвредный источник теплоснабжения, пожаро- и взрывобезопасен. Поскольку тепловые насосы не используют в своей работе топливо, то соответственно стоимость их эксплуатации не будет зависеть от изменения цен на энергоносители.

В Республике Беларусь накоплен определенный опыт применения тепловых насосов. Устройства типа «воздух-воздух» и «воздух-вода» применяются на станциях Минского метрополитена, в системах отопления торговых центров и административных зданий.

Геологические испытания показали наличие в стране источников геотермальной энергии. Самым перспективным районом для ее использования считается Брестская впадина, где на глубине около 1000 м найдена вода температурой 22 – 24°C. Ее тепло планируется использовать для обогрева теплиц КУП «Тепличный комбинат “Берестье”».

**Сравнительные характеристики различных типов  
отопительных установок мощностью 10,8 кВт/ч [34]**

Технические характеристики	Способ обогрева помещения			
	Газовый котел	Котел на жидком топливе	Электрический котел	Тепловой насос
Стоимость	Средняя	Средняя	Низкая	Высокая
Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	180	180	180	180
Мощность установки, кВт	10,8	10,8	10,8	10,8
Площадь котельной, м <sup>2</sup>	6	6	3	6
Расход электрической энергии, кВт/час	1,5	2	13	2
Источник тепловой энергии	Газ	Дизельное топливо	Электрический ток	Тепло земли, электрический ток
Расход энергоносителя в год	5000 м <sup>3</sup>	10000 л	69000 кВт	Энергия земли бесплатно
Срок службы	15 – 20 лет	15 – 20 лет	3 – 8 лет	50 лет
Пожароопасность	Опасен (постоянный огонь)	Опасен (постоянный огонь)	Опасен	Безопасен
Взрывоопасность	Опасен	Опасен	Опасен	Безопасен
Уровень экологической опасности	Вреден (выделяет СО и NO <sub>x</sub> )	Вреден (выделяет СО и NO <sub>x</sub> )	Безвреден	Безвреден
Вентиляция	Необходима	Необходима	Не нужна	Не нужна
Обслуживание	Регулярный осмотр	Регулярный осмотр	Периодический осмотр	Периодический осмотр
Надежность	Высокая	Высокая	Высокая	Очень высокая
Автономность при отсутствии снабжения энергоносителями	Не обеспечивает	Не обеспечивает	Не обеспечивает	Обеспечивает при наличии резервного эл. генератора 2 кВт
Возможность охлаждения помещения	Не обеспечивает	Не обеспечивает	Не обеспечивает	Обеспечивает
Окупаемость	Не окупается	Не окупается	Не окупается	Окупается за 7 – 10 лет

### 3.4. Установка приборов учета и регуляторов

В Республике Беларусь раньше, нежели в других странах СНГ, обратили внимание на большой экономический потенциал, заключенный в учете потребления энергоресурсов, включая воду. Свидетельство этому – постановления СМ РБ № 505 от 7 июля 1994 года «О введении приборного учета расхода газа, воды и тепловой энергии в домах жилищного фонда Республики» и СМ РБ № 855 от 7 июня 1997 года, основным содержанием которых является обязательное оснащение вновь вводимого и капитально отремонтированного жилья приборами группового и индивидуального учета.

Более подробно механизм действия этих постановлений раскрыт во Временном положении о порядке внедрения приборов квартирного учета расхода холодной и горячей воды в жилищном фонде республики, введенном в действие приказом министра жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь №39 от 26 апреля 1995 года.

Основные его разделы: порядок компенсаций собственникам жилых домов затрат на приобретение и установку приборов учета расхода воды; установка и порядок надзора за эксплуатацией приборов учета и расчета с населением за воду; ответственность поставщиков воды и тепловой энергии на нужды горячего водоснабжения.

Определено, что владельцы жилых домов (квартир) и квартиросъемщики, установившие приборы учета расхода газа, воды и регулирования расхода тепловой энергии за счет собственных средств, рассчитываются за эти ресурсы в первые 3 года после установки указанных приборов на основе их показаний с 10-процентной скидкой с тарифов, утвержденных в установленном порядке.

Опыт западных стран, стран Прибалтики и первый отечественный свидетельствует, что 30 – 50 % экономии воды при ее учете – реальный факт.

Обратимся к цифрам на примере Минска и средней семьи из трех человек. При потреблении воды без учета считается, что каждый житель потребляет в день 120 л горячей воды и 180 холодной, независимо от того, где он находится.

С учетом этого факта наша расчетная семья потребляет 10,8 м<sup>3</sup> горячей воды и 16,2 м<sup>3</sup> – холодной, за что придется уплатить с учетом канализации 70 254 руб. по действующим на 1.09.1998 г. тарифам без учета тепла на нагрев воды. Если тарифы достигнут хотя бы уровня самокупаемости, то эта сумма составит 420 000 руб. Рассчитывая на среднюю экономию воды в 40 %, наша расчетная семья сэкономит в год 2 000 000 руб.

Интересное решение экономии воды – соединение выхода раковины умывальника с бачком унитаза: вода используется дважды. Ощутимый экономический эффект принесут такие нехитрые приемы, как мытье посуды в раковине, а не в проточной струе, прием душа вместо ванны (расход почти в 4 раза меньше).

Благодаря установке счетчиков воды потребление воды в Минске сократилось в 2007 году на 5 %. В 2008 году счетчиками было оборудовано 900 тыс. квартир.

В целом, за последние 10 – 15 лет при достаточно высоком темпе роста ВВП в 10 – 12 % не отмечается увеличения потребления воды. Это достигается за счет внедрения безводных технологий производства, повторного использования водных ресурсов и реконструкции систем водоснабжения.

Установка теплосчетчиков в домах с централизованным теплоснабжением и оплата за реальное потребление тепла, также дает весьма значительную экономию средств по сравнению с оплатой по нормативу.

Простейший теплосчетчик сегодня представляет собой прибор, измеряющий температуру и расход теплоносителя на входе и выходе объекта теплоснабжения. Друг от друга технически теплосчетчики отличаются по методу измерения расхода теплоносителя.

На сегодняшний день в серийно выпускаемых теплосчетчиках используются расходомеры следующих типов:

1. Теплосчетчики с крыльчатками (турбинными) расходомерами.
2. Теплосчетчики с ультразвуковыми расходомерами.
3. Теплосчетчики с электромагнитными расходомерами.

Во всех теплосчетчиках в качестве датчиков для измерения температуры используются стандартные термометры сопротивления.

Метод измерения расхода теплосчетчиками с крыльчатками расходомерами заключается в следующем: в поток жидкости вставляется крыльчатка (турбинка), скорость вращения которой пропорциональна скорости потока, а следовательно, (при известном диаметре трубы) и расходу жидкости.

Существует множество модификаций ультразвуковых расходомеров, но основной принцип работы любого из них заключается в следующем: на трубе друг напротив друга устанавливаются излучатель и приемник ультразвукового сигнала. Излучатель посылает сигнал сквозь поток жидкости, а приемник через некоторое время получает его. Время задержки сигнала между моментами его излучения и приема прямо пропорционально скорости потока жидкости в трубе: оно измеряется, и по его величине вычисляется расход жидкости в трубопроводе.

Электромагнитный расходомер представляет собой небольшой гидродинамический генератор переменного тока, вырабатывающий ЭДС, пропорциональную средней скорости потока, а следовательно и расходу жидкости. На сегодняшний день электромагнитные теплосчетчики в плане исполнения прибора и его технических возможностей являются наиболее современными и мало чем отличаются от своих ультразвуковых аналогов. Поэтому данный вид счетчиков наиболее предпочтителен с точки зрения надежности и сроков службы прибора.

После установки приборов контроля и учета потребления теплоэнергии следующим шагом является **регулирование теплопотребления**. Опыт Германии показывает, что при этом можно достигнуть следующих показателей энергосбережения:

- регулирование температурного режима отопительных установок в зависимости от погодных условий (температуры наружного воздуха) – 10 %;
- снижение интенсивности отопления в ночное время и выходные дни в общественных и административных зданиях – 10%;
- установка автоматических термостатических клапанов (кранов) на радиаторах – 5 – 10 %;
- установка ручных регулирующих кранов на радиаторах – 5 – 7 %.

Индивидуальные средства регулирования тепла в квартирах, автоматические или ручные, являются эффективными при наличии регулирования в распределительных сетях или узлах. В противном случае возможны, например, незапланированные колебания температуры и гидравлических характеристик системы при «несогласованных» действиях хозяев помещений.

Быстрое реагирование на изменения погодных условий в отдельно взятом здании возможно при внедрении автоматической системы регулирования теплопотребления по погоде.

Суть данной системы заключается в следующем: на улице устанавливается электротермометр, измеряющий температуру воздуха в данный момент. Каждую секунду его сигнал сравнивается с сигналом о температуре теплоносителя на выходе из здания (то есть фактически с температурой самого холодного радиатора в здании) и/или с сигналом о температуре в одном из помещений здания. На основании данного сравнения регулирующий блок автоматически дает команду на электрический регулирующий клапан, который устанавливает оптимальную величину расхода теплоносителя.

Кроме того, подобная система снабжена таймером переключения режима работы системы отопления. Это означает, что при наступлении определенного часа суток и(или) дня недели она автоматически переключает отопление из нормального режима в экономный и наоборот.



В условиях Беларуси регулирование в распределительных сетях дает снижение потребления тепла на 15 – 20 %, а в сочетании с индивидуальным регулированием – до 20 – 25 %. Имеется пример, когда установка датской системы автоматического регулирования отопления и горячего водоснабжения 24-квартирного жилого дома в г. Минске позволила получить энергосберегающий эффект около 40 %.

Равномерного распределения тепла по зданию можно достигнуть при использовании **циркуляционного насоса**. Циркуляционный насос осуществляет следующую функцию: увеличение скорости протекания теплоносителя по радиаторам здания. Для этого между подающим и обратным трубопроводом устанавливается переключатель, через который осуществляется подмешивание части обратного теплоносителя к прямому. Один и тот же теплоноситель быстро и несколько раз проходит по внутреннему контуру здания. Благодаря этому температура в подающем трубопроводе падает, а за счет увеличения в несколько раз скорости протекания теплоносителя по внутреннему контуру здания, в обратном трубопроводе температура поднимается. Насос снабжен всеми необходимыми устройствами защиты и работает полностью в автоматическом режиме.

Соответственно при таком распределении тепла по всем помещениям здания создаются одинаково комфортные условия, форточки на верхних этажах закрываются, благодаря чему достигается 10 – 15 % экономия тепла.

### 3.5. Утепление наружных стен зданий

Эксплуатируемые в настоящее время здания были построены в соответствии с существовавшими на момент строительства нормами и стандартами. В зависимости от года сооружения теплозащитные свойства зданий (например, термическое сопротивление стен) в обобщенном виде можно представить в виде графика (рис. 40).

Как видно из графика, в 1994 г. существенно возросли нормативные требования к термическому сопротивлению стен.

Примерно в такой же пропорции возросли в 1994 г. норма-



Рис. 40. Усредненное значение термического сопротивления стен: нормативное (а), фактическое (б)

тивные требования к другим ограждениям: покрытиям, полу. Требования к сопротивлению окон увеличилось в 1997 г. с 0,34 до 0,6 м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Действующие в настоящее время нормативные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий приведены в табл. 10 [36].

Таблица 10

**Нормативные значения сопротивления теплопередаче  
ограждающих конструкций зданий в Республике Беларусь**

Ограждающая конструкция	Действующее нормативное сопротивление теплопередаче, м <sup>2</sup> ·°С/Вт
Наружные стены крупнопанельных, каркасно-панельных и объемно-блочных зданий	2,5
Наружные стены монолитных зданий	2,2
Наружные стены из мелкоштучных материалов (кирпич, ячеистые блоки)	2,0
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия	3,0
Окна	0,6

В 2008 г. на заседании научно-технического Совета Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь с целью экономии энергопотребления было предложено на рассмотрение установление показателя нормативного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций не менее 3,2 м<sup>2</sup>·°С/Вт (табл. 11) при условии выравнивания теплопотерь помещений в зависимости от их расположения в здании и обеспечения энергопотребления на отопление не более 60 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год.

Таблица 11

**Предлагаемые величины сопротивления  
теплопередаче ограждающих конструкций зданий**

Ограждающая конструкция	Действующее нормативное сопротивление теплопередаче, м <sup>2</sup> ·°С/Вт
Наружные стены зданий из всех видов строительных материалов, не менее	3,2
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия	6,0
Окна, балконные двери	1,2

Для соблюдения современных требований, предъявляемых к термическому сопротивлению ограждающих конструкций, используют различные системы утепления фасадов, кровель, подвалов, применяя высокоэффективные теплоизоляционные материалы.

В Беларуси используются следующие системы утепления зданий:

- лёгкие штукатурные системы, предназначенные для тепловой изоляции стен зданий;
- тяжёлые штукатурные системы утепления, предназначенные для тепловой изоляции стен зданий и обеспечения противопожарных требований;
- вентилируемые системы утепления стен, предназначенные, как правило, для теплоизоляции стен зданий с влажным или мокрым режимами эксплуатации, а также для зданий, к фасадам которых предъявляются требования повышенной архитектурной выразительности.

В 1996 г. специалистами СКТБ «Сармат» разработана система утепления фасадов легким теплоизоляционным материалом с защитой тонкослойной армированной штукатуркой, получившая название термощубы. Термощуба позволяет выполнять работы при отрицательных температурах до минус 12 °С. Это несомненное достоинство системы позволяет значительно увеличить строительный сезон, а в условиях Беларуси – выполнять их практически круглогодично. В 1998 г. система термощуба рекомендована к массовому применению.

Комплексные натурные обследования и испытания термощубы, подтвердили ее высокое качество и эксплуатационную надежность. Термощуба имеет высокую ударопрочность, долговечность – более 35 условных лет, низкую эксплуатационную влажность – менее 1 %, предел прочности на разрыв утеплителя – более 0,02 МПа, а защитного и отделочного слоев – более 1,1 МПа.

Фактическая экономия энергоресурсов по исследованным зданиям составила в среднем 97,7 т у.т./год. Окупаемость затрат на утепление зданий термощубой составляет в зависимости от толщины утеплителя и конструктивных особенностей зданий 4 – 12 лет.

Сам метод устройства системы Термощуба и все необходимые материалы были детально описаны в Пособии 1-99 к СНиП 3.03.01-87 «Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий методом Термощуба», которое действовало с 1999 года. В 2006 г. Пособие заменено техническим кодексом установившейся практики ТКП 45-3.02-24-2006 «Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «Термощуба». Правила проектирования и устройства».

В Республике Беларусь приобретен обширный опыт по устройству тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий. Пособиями к СНиП 3.03.01-87, ТКП (табл. 12) устанавливаются характеристики материалов, конструктивные решения и правила выполнения работ.

Таблица 12

**Нормативно-техническая документация  
по тепловой изоляции ограждающих конструкций**

Обозначение	Наименование
ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01-87	Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций жилых зданий
П5-02 к СНиП 3.03.01-87	Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «Радекс»
П6-03 к СНиП 3.03.01-87	Устройство полистиролбетонной теплоизоляции ограждающих конструкций зданий методом торкретирования
П7-03 к СНиП 3.03.01-87	Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций и отделки фасадов зданий и сооружений. Система «Пралеска»
П8-04 к СНиП 3.03.01-87	Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий и сооружений с применением изделий из ячеистого бетона
П9-04 к СНиП 3.03.01-87	Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий и сооружений. Система «Илмакс»
ТКП 45-3.02-50-2006	Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «CERESIT» («ЦЕРЕЗИТ»). Правила проектирования и устройства
ТКП 45-3.02-71-2007	Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений с использованием материалов из пеностекла. Правила проектирования и устройства
ТКП 45-3.02-10-2005	Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «КАПАТЕКТ». Правила проектирования и устройства
ТКП 45-3.02-24-2006	Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «Термошуба». Правила проектирования и устройства
ТКП 45-3.02-9-2005	Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «СЭНД». Правила проектирования и устройства

В системах утепления в качестве утеплителя используются плиты минераловатные и плиты пенополистирольные (системы утепления

«Термошуба», «Радекс», «Пралеска», «Пралеска-Венто», «Илмакс», «CERESIT»), полистиролбетон плотностью  $500 \text{ кг/м}^3$ , стеновые блоки из ячеистых бетонов, плиты теплоизоляционные из ячеистых бетонов, пеностекло.

Здания, которые были построены после принятия новых норм термического сопротивления для ограждающих конструкций, составляют всего 1,5 – 2 % от существующего жилого фонда, который в большинстве своем остается холодным и потому подлежит термореновации. По всей республике объем жилья, нуждающегося в утеплении, превышает 200 млн  $\text{м}^2$ .

### 3.6. Стеклопакеты

Особую роль в энергобалансе здания играют светопрозрачные конструкции. Уровень их теплозащиты уступает теплозащите стеновых конструкций зданий. На световые проемы приходится более 40 % всех теплопотерь здания. Энергоэффективность светопрозрачной конструкции будет ничтожно мала, если используется малоэффективный, низкокачественный стеклопакет.

Стеклопакеты состоят из двух или нескольких стекол, разделенных между собой промежутком, заполненным разреженным воздухом или инертным газом и герметично соединенных по контуру.

В том случае, когда межстекольное пространство стеклопакета заполняется более плотным по сравнению с воздухом газом, потери тепла, происходящие за счет конвекции и теплоотдачи внутри стеклопакета, снижаются.

Наиболее часто для заполнения межстекольного пространства применяются: аргон (Ar) и криптон (Kr). Это газы, получают отделением от сжиженного атмосферного воздуха. Криптон – это реже встречающейся и значительно более дорогой по сравнению с аргоном инертный газ, но он в большей степени, чем аргон повышает теплоизолирующую способность стеклопакета.

Большие плотность, вязкость и диаметр молекулы криптона по сравнению с аргоном и воздухом приводят к снижению конвекционных токов внутри стеклопакета, что также приводит к увеличению сопротивления теплопередачи. Эти же факторы обуславливают меньшую диффузию криптона во внешнюю среду и повышают долговечность состава газовой среды внутри стеклопакета (табл. 13). Теплопроводность криптона в 2,6 раза меньше, теплопроводности воздуха и в 1,8 раза меньше теплопроводности аргона, что увеличивает сопротивление теплопередачи стеклопакета [11].

Таблица 13

Параметры при T = 21°C и давлении 0,1 МПа	Криптон	Аргон	Воздух
Вязкость, (10 <sup>-6</sup> Па·с)	25,233	22,493	18,158
Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	3,43	1,64	1,18
Скорость звука, (м/с)	220,39	319,43	344,16

Скорость звука в криптона на 30 % меньше, чем в аргоне и на 36 %, чем в воздухе. Это обеспечивает больший коэффициент затухания звука в среде криптона по сравнению с чистым аргоном.

Испытания на долговечность криптонозаполненных стеклопакетов доказали, что срок эксплуатации составляет 29 лет, что превосходит аналогичный показатель для аргонозаполненных стеклопакетов (20 лет).

В табл. 14 приведены значения коэффициентов сопротивления теплопередаче однокамерных и двухкамерных стеклопакетов, с обычными и низкоэмиссионными стеклами с заполнением криптоном и воздухом.

Таблица 14

**Результаты экспериментальных исследований стеклопакетов  
(получены в лаборатории Г.Г. Фаренюка, НИИСК, г. Киев) [11]**

Количество камер	Тип стеклопакета	Газовый состав %			Коэффициент сопротивления теплопередаче, м <sup>2</sup> К/Вт
		Воздух	Криптон	Аргон	
1	4M1-16-4M1	100			0,32
1	4M1-16-4K	100			0,53
1	4M1-Kr16-4K		100		0,67
1	4M1-Ar16-4K			100	0,66
1	4K-Kr16-4K		100		0,7
1	4M1-16-4И	100			0,59
1	4M1-Kr16-4И		100		0,78
2	4M1-10-4M1-10-4M1	100			0,47
2	4M1-10-4M1-10-4K	100			0,59
2	4M1-Kr10-4M1-Kr10-4K		100		0,91
2	4M1-Kr10-4K-Kr10-4K		100		1,48
2	4M1-10-4M1-10-4И	100			0,64

2	4M1-Kr10-4M1-Kr10-4И		100		1,00
2	4M1-Kr10-4И-Kr10-4И		100		1,58
2	4M1-Ar12-4M1-Ar12-4К			100	1,45

### Низкоэмиссионное стекло (К-стекло и И-стекло) [17]

**К-стекло.** Это высококачественное стекло с низкоэмиссионным покрытием, нанесенным на одну поверхность стекла в течение его производства флоат-методом. Многоступенчатое металлизированное покрытие методом пиролиза наносится на поверхность стекла, в момент, когда стекло все ещё имеет очень высокую температуру (более 600°C). Так как стекло представляет собой вещество, молекулы кристаллической решетки которого при такой температуре сильно удалены друг от друга, то происходит проникновение молекул металлизированного покрытия вглубь кристаллической решетки стекла. Покрытие как бы ламинируется слоем стекла, что делает его очень устойчивым, чрезвычайно механически прочным и постоянным. Данная технология носит название «жесткое» покрытие.

**И-стекло.** Это высококачественное стекло с низкоэмиссионным покрытием, нанесенным на одну поверхность стекла в условиях вакуума, методом катодного распыления в электромагнитном поле металлосодержащих соединений, обладающих заданными избирательными свойствами. Данные покрытия, нанесенные на стекло, носят название «мягких» покрытий.

Существенным недостатком И-стекла является низкая химическая устойчивость покрытия. Это объясняется тем, что для реализации явления интерференции (с целью получения прозрачного покрытия) пленки (в данном случае серебро и оксид титана) наносят строго определенной толщины, в результате чего они имеют неплотную структуру и «прозрачны» для атмосферной влаги и воздуха, которые окисляют серебро. Покрытие теряет свои эмиссионные свойства. Отсюда и особые требования к И-стеклу. Хранение в герметичной упаковке и ограниченный срок монтажных работ в открытой среде. Вместе с тем в среде инертного газа материал покрытия на И-стекле защищен от окислительного воздействия кислорода воздуха и работоспособен вплоть до разгерметизации стеклопакета. Характеристика низкоэмиссионных стекол дана в табл. 15.

Источниками тепла, которое мы получаем в наших домах, могут быть центральное отопление, газовая плита, нагревательные приборы, электрические лампы или даже температура тела человека. Такой вид тепла имеет физическую характеристику, известную нам как длинноволновое

излучение. На это длинноволновое излучение и оказывает свой эффект низкоэмиссионное покрытие стекла. Покрытие, нанесенное на данный тип стекла, имеет очень высокую электронную плотность атомов. Длинноволновое излучение не может 100 % пройти сквозь него, как крупный горох через сито для муки. Большая его часть отражается опять в помещение, а наименьшая часть тепловой энергии теряется, уходя на улицу.

Таблица 15

**Характеристика низкоэмиссионных стекол [17]**

Стекла с «жестким» покрытием	Стекла с «мягким» покрытием
Технические характеристики	
Хорошие теплоизолирующие свойства ( $K = 1,9 - 1,6$ )	Отличные теплоизолирующие свойства ( $K = 1,3 - 1,1$ )
Отличная способность пропускания солнечной тепловой энергии (SF 70)	Хорошая способность пропускания солнечной тепловой энергии (SF 62)
Обработка	
Просто в обработке (как обычное флоат-стекло)	Требует осторожности в обработке
При монтаже в стеклопакет не требует очистки края листа от покрытия	Очистка края листа от покрытия необхо- дима при монтаже в стеклопакет (для сцепления с герметиком)
Неограниченный срок хранения	Ограниченный срок хранения
Закаливание	
Безусловно	Возможно

Помещение лучше сохраняет тепло, и как следствие, можно сократить больше той дорогостоящей энергии, за которую нам приходится дополнительно платить.

В отличие от энергии центрального отопления и т.п., солнечная энергия имеет коротковолновую природу. Низкоэмиссионное стекло позволяет пропустить относительно высокую часть этой энергии (69 %).

Солнечная энергия эффективно проходит через окно в помещениях. Эта бесплатная энергия поглощается стенами, полами и мебелью, и потом повторно излучается как длинноволновая энергия, которая задерживается низкоэмиссионным стеклом, установленным в стеклопакете.

В результате этого можно извлекать выгоду и от аккумулирования солнечного тепла.



В течение холодных месяцев, и даже в наиболее пасмурные дни, в помещении сохраняется значительное количество солнечного тепла. Стеклопакет пропустит и удержит, как в ловушке, это тепло, которое нагревает всё, что находится в помещении.

Обычное остекление позволяет значительной части этого тепла выйти наружу, и, как следствие, ненагретое помещение часто является прохладным и неуютным местом в холодное время.

Низкоэмиссионное стекло будет дольше удерживать тепло неотапливаемого помещения, продлевая, таким образом, на гораздо большее время комфортабельные условия по сравнению с помещением, остекленным обычным стеклом.

По сравнению с обычным остеклением низкоэмиссионное стекло, за счет которого нагревается помещение, обеспечивает более эффективную и действенную изоляцию, сокращает потери тепла, создавая более удобную и более теплую среду, и что наиболее важно, уменьшает дорогостоящую плату за отопление.

Применение стеклопакетов с К-стеклом ( $1,9 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ ) дает экономию на площади остекления  $30 \text{ м}^2$  жилого дома 437 л у.т. в год, то есть в 1,6 раза меньше, чем при остеклении обычным стеклом.

А применение стеклопакетов с И-стеклом ( $1,2 \text{ Вт/ м}^2\text{К}$ ) на этой же площади дает экономию 700 л у.т. в год.

При наружной температуре минус  $26^\circ\text{C}$  и температуре в помещении  $+20^\circ\text{C}$ , температура на поверхности стекла внутри помещения будет  $+5,1^\circ\text{C}$  у обычного стеклопакета,  $+11^\circ\text{C}$  – у стеклопакета с К-стеклом и  $+14^\circ\text{C}$  – с И-стеклом.

Это означает, что режим нагрева помещения может быть изменен, так как для нагревательной системы нет необходимости компенсировать значительную «холодную» зону вблизи окна. Эта зона вблизи обычного остекления приводит к так называемым сквознякам, связанным с конвективными потоками холодного воздуха.

Применение стеклопакетов с низкоэмиссионным стеклом позволяет устранить эффект сквозняка и существенно повысить комфорт помещения.

В результате холодные места в помещениях близкие к окну фактически устранены. Человек может сидеть близко к окну, не чувствуя холода или какого-либо неудобства.

Конденсат формируется, когда теплый сырой воздух входит в контакт с холодной поверхностью. Наиболее обычное местоположение конденсата при одинарном остеклении на внутренней поверхности стекла, поэтому холодный конденсат легко осаждается на нем. Поверхность стекла при двойном остеклении будет более теплая, так что вероятность формирования конденсата гораздо ниже.

В стеклопакете с использованием К-стекла внутренняя поверхность стекла настолько теплая, что конденсат практически отсутствует, за исключением наиболее экстремальных условий. Это достигается благодаря тому, что тепло поглощается К-стеклом. Это тепло, обычно теряемое при одинарном остеклении, отражается К-стеклом снова в помещение за счет низкоэмиссионного покрытия. В результате поверхность К-стекла поглощает большое количество тепла и нагревается гораздо больше, чем поверхность обычного стекла в двойных рамах (приблизительно на 3-4 °С).

Энергетическая эффективность с К-стеклом на 30 % выше, чем при обычном двойном остеклении той же самой конструкции рамы.

### **3.7. Теплозащитные шторы и экраны**

#### **Наружный экран**

Достаточно простой способ снижения теплопотерь через окна – устройство с наружной стороны окна экрана, выполненного из теплоизоляционных пластин. Опущенный на ночь экран или закрывающиеся ставни позволяют уменьшить поток тепла, излучаемый остеклением наружу, и создать дополнительную воздушную прослойку, являющуюся хорошей теплоизоляцией (рис. 41).

#### **Внутренний экран**

Одним из вариантов повышения теплозащиты окон является установка штор или жалюзи со стороны помещения (рис. 42). Их устройство позволяет снизить теплопотери в помещении в результате уменьшения потока лучистого тепла. При этом не следует закрывать шторами поверхность отопительного прибора, находящегося под окном (рис. 43).

Если теплозащитная штора, жалюзи или экран выполнены из непрозрачного материала, то их опускают на окно, когда начинает смеркаться. В этом случае теплозащита окон повысится на определенный период времени – ночь, когда температура наружного воздуха понижается и используется искусственное освещение.

#### **Экран в межстекольном пространстве**

Повысить теплозащиту окон можно размещением различных экранов в межстекольном пространстве. Этот метод основан на том, что при установке экрана уменьшается разность температур между близлежащими поверхностями и снижается интенсивность движения молекул воздуха и, следовательно, конвективного теплообмена. Помимо этого в некоторых

случаях при создании узких воздушных прослоек скорость восходящих воздушных потоков тормозится нисходящими, что уменьшает теплопередачу конвекцией. Установленный в межстекольном пространстве экран также снижает лучистую составляющую теплового потока (табл. 16).

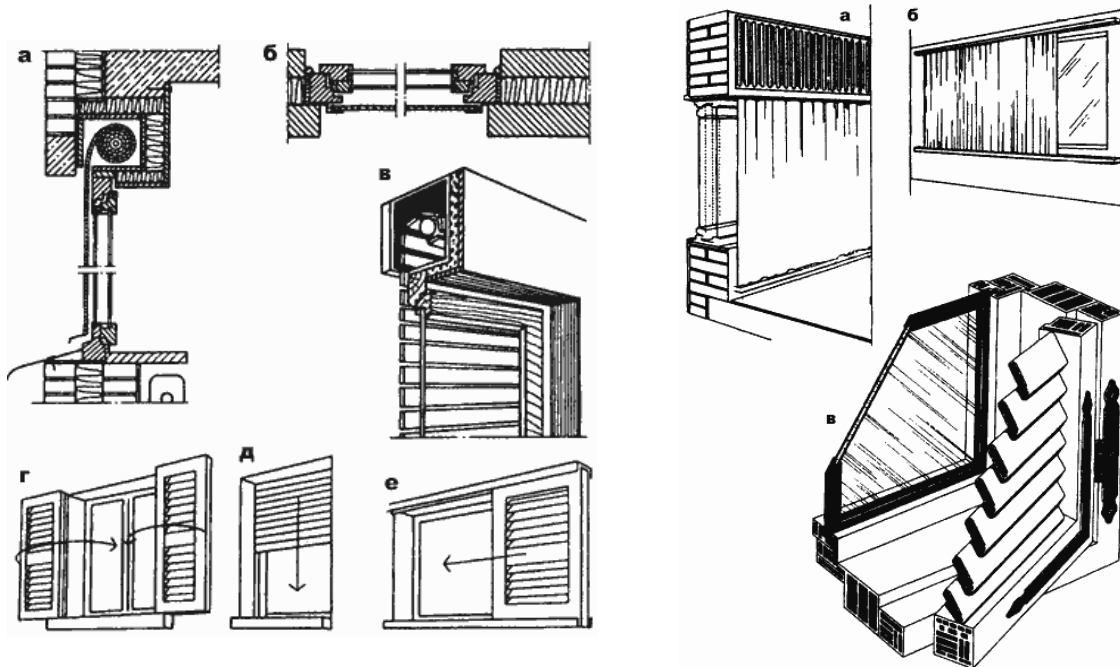


Рис. 41. Окна со свертывающимися экранами: *а* – вертикальный разрез; *б* – горизонтальный разрез; *в* – аксонометрия; *г* – закрывающиеся ставни; *д* – опускающиеся жалюзи; *е* – задвигающиеся ставни

Рис. 42. Установка штор (*а*, *б*) и жалюзи (*в*) со стороны помещения

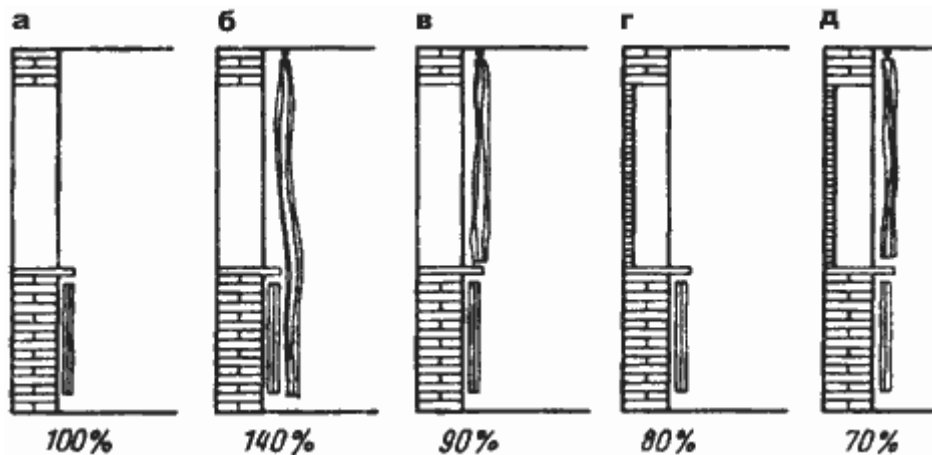


Рис. 43. Влияние зашторивания и экранирования окон на теплопотери, %: *а* – окно без занавесок; *б* – окно с длинными занавесками, закрывающими отопительный прибор; *в* – окно с короткими занавесками, не закрывающими отопительный прибор; *г* – окно с экраном с наружной стороны остекления; *д* – окно с короткими занавесками и наружным экраном.

**Эффективность использования теплозащитных экранов различных типов [35]**

Конструкция	Общее сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2\text{°C/Вт}$
Одинарное стекло	0,17
Двойное стекло	0,38
Тройное стекло	0,62
Двойное стекло + штора	0,46
Двойное стекло + 2 шторы	0,55
Двойное стекло + штора, покрытая алюминиевым лаком	0,53
Двойное стекло + деревянные ставни	0,52
Тройное стекло + штора	0,7
Тройное стекло + 2 шторы	0,73
Тройное стекло + штора, покрытая алюминиевым лаком	0,88
Тройное стекло + деревянные ставни	0,76
Тройное стекло + ставни, покрытие алюминиевым лаком	0,83

Зашторивание светопроемов устройствами, размещаемыми между остеклением, позволяет не только сократить теплопотери через остекление в холодное время года, но и в некоторой степени отрегулировать освещенность.

Получили распространение шторы-жалюзи, экран которых представляет собой систему пластин, соединенных гибкими связями. Пластины могут поворачиваться вокруг собственной оси, изменяя количество солнечной радиации, поступающей через световые проемы, и улучшать показатели естественного освещения благодаря использованию света, отраженного пластинами. Нанесение на пластины селективных покрытий позволяет создавать простые и высокоэффективные воздушные солнечные коллекторы (рис. 44).

Выпускаемые промышленностью шторы-жалюзи могут быть использованы для стандартных окон со спаренными и разделенными переплетами.

Возможно размещение в межстекольном пространстве свертывающейся шторы, которая имеет эластичный экран из металлизированной пленки, наматывающийся на барабан. На конце барабана размещается катушка со шнуром, конец которого выпускают через отверстия в переплете внутрь помещения (рис. 45).

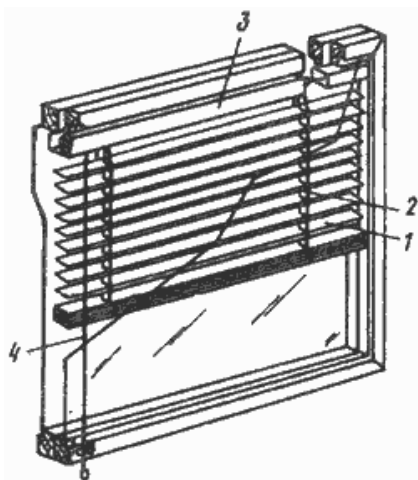


Рис. 44. Межстекольная штора-жалюзи:  
1 – алюминиевая пластина; 2 – гибкая связь;  
3 – короб; 4 – шнур

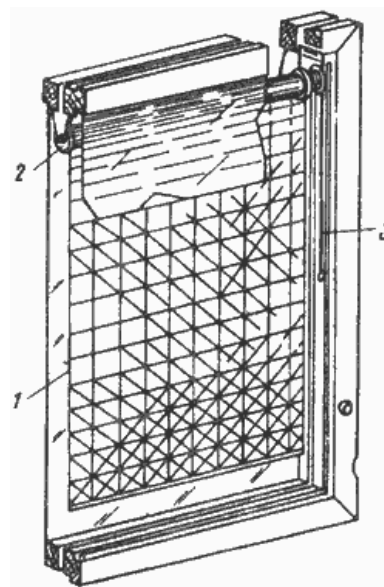


Рис. 45. Свертывающаяся штора:  
1 – экран; 2 – барабан; 3 – шнур

Представляет интерес и расположенная в межстекольном пространстве комбинированная штора, состоящая из 2-х соединенным между собой полотен. Каждое из полотен прикреплено к катушкам, одна из которых находится в верхней, а другая в нижней части светопроема. Одно из полотен выполняют из прозрачной ткани или металлизированной пленки, другое из светонепроницаемого материала. Прозрачное полотно устанавливают в окне в дневное время, а темное – в вечернее или ночное. Помимо уменьшения теплопотерь через окно в холодное время года комбинированная штора может использоваться и в летнее время в качестве солнцезащитного устройства (при установке полотна из металлизированной пленки) (рис. 46).

Значительно снизить потери тепла через окна можно с помощью расположенной между стеклами объемной шторы с экраном из складчатых металлизированных полотен. Полотна экрана выполняют из металлизированной пленки, а внутреннее полотно может быть изготовлено из прозрачной пленки. Экран объемной шторы поднимают с помощью шнура, присоединенного рейкой к нижней кромке экрана, и собирают в пакет в верхней части окна (рис. 47).

Анализ теплозащитных характеристик конструкций экранов показал, что наиболее эффективна объемная штора, позволяющая снизить теплопотери на 38 %. Установленные в межстекольном пространстве шторы-жалюзи позволяют повысить теплозащитные способности окон на 17 – 19 %, а свертывающиеся прозрачные шторы из полиэтиленовой пленки или ткани в среднем на 28 % [35].

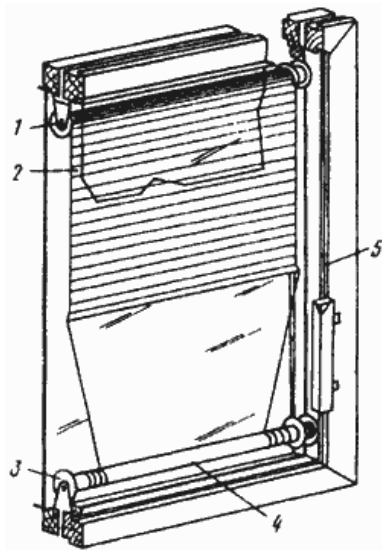


Рис. 46. Штора с комбинированным экраном:  
1 – верхний барабан; 2 – полотно из полупрозрачной ткани или металлизированной пленки; 3 – нижний барабан; 4 – непрозрачное темное полотно; 5 – шнур

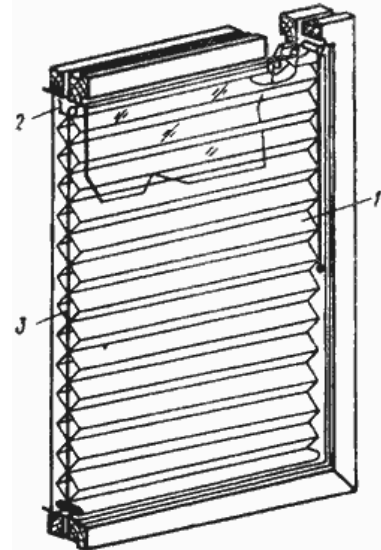


Рис. 47. Штора с объемным экраном: 1 – экран из складчатых полотен; 2 – планка; 3 – шнур

### 3.8. Энергоэффективные источники освещения

#### Основные характеристики освещения

Освещение – применение света в конкретной обстановке, рядом с объектами или в их окружении, с целью сделать их видимыми.

Видимое излучение – электромагнитное излучение с длиной волны от 380 до 780 нм.

Инфракрасное излучение – электромагнитное излучение с длиной волны большей, чем у видимого излучения. Инфракрасное излучение делится на три группы:

- А (короткие волны) – 800 – 1400 нм;
- В (средние волны) – 1400 – 3000 нм;
- С (длинные волны) – 3000 – 10000 нм.

Ультрафиолетовое излучение – оптическое излучение с длиной волны меньшей, чем у видимого излучения. Ультрафиолетовое излучение делится на три группы:

- А (короткие волны) – 315 – 400 нм;
- В (средние волны) – 280 – 315 нм;
- С (длинные волны) – 100 – 280 нм.

Световая отдача – отношение излучаемого светового потока к потребляемой мощности. Единица измерения – люмен на ватт (лм/Вт).

Поток излучения – количество энергии, излучаемой за единицу времени. Единица измерения – ватт (Вт).

Световой поток – полное количество света, излучаемого данным источником в видимой области спектра. Единица – люмен (лм).

Сила света – пространственная плотность светового потока в заданном направлении или отношение светового потока, направленного от источника в пределах телесного угла, охватывающего данное направление, к этому углу. Единица – кандела (кд).

Освещенность – плотность падающего светового потока на поверхности или отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Единица измерения – люкс (лк).

Яркость – отношение силы излучения в заданном направлении от участка поверхности к проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению. Единица измерения – кандела на метр квадратный (кд/м<sup>2</sup>).

Цветовая температура – температура черного тела, при которой оно испускает излучение с той же хроматичностью, что и рассматриваемое измерение. Единица измерения – кельвин (К). Эта мера объективного впечатления от цвета данного источника света:

2700 К – свертеплый белый;

3000 К – теплый белый;

4000 К – естественный белый;

5000 К – холодный белый (дневной).

В настоящее время около 40 % генерируемой в мире электрической энергии и 37 % всех электрических ресурсов используется в жилых и общественных зданиях. Существенную долю (40 – 60 %) в энергопотреблении зданий составляет энергия на освещение. Сокращение расхода электроэнергии на эти цели возможно двумя основными путями:

- снижением номинальной мощности освещения;
- уменьшением времени использования светильников.

Снижение номинальной (установленной) мощности освещения в первую очередь означает переход к более эффективным источникам света, дающим нужные потоки при существенно меньшем энергопотреблении.

На сегодняшний день самым распространенным источником света являются лампы накаливания. Основным источником оптического излучения в лампах накаливания является разогретый до температуры свечения проводник, находящийся в инертной атмосфере. Выпускают лампы вакуумные с аргоновым и криптоновым наполнителем. Криптоновые лампы

имеют меньшие габариты и обеспечивают световой поток примерно на 10 % больше, чем лампы с аргоновым наполнителем. Лампы используются в сетях переменного тока напряжением 127 и 220 В и частотой 50 Гц. Средняя продолжительность горения составляет 1000 ч (рис. 48).

Современные энергосберегающие светильники подразделяются на три группы:

1. Светильники люминесцентные.
2. Светильники галогенные.
3. Светильники специального назначения.

Люминесцентные лампы используются в основном для местного и общего освещения жилых и общественных помещений. Отличительной особенностью энергосберегающих люминесцентных ламп является высокая световая отдача, то есть величина светового потока, получаемого в расчете на 1 Вт мощности, потребляемой лампой. Если для ламп накаливания этот показатель составляет до 10 – 15 лм на 1 Вт, для галогенных – до 30, то для энергосберегающих – примерно 50 – 60 лм на 1 Вт. Таким образом, требуемую освещенность можно получить, заменив, например, 100-ваттные лампы накаливания всего лишь 20-ваттными люминесцентными лампами. Несложный расчет показывает: подобная 20-ваттная лампа на протяжении стандартного срока службы (6 – 8 тыс. ч) позволит сэкономить около 450 – 600 кВт ч электроэнергии. Даже с учетом высокой стоимости люминесцентных ламп выгода от их применения весьма ощутима.

Люминесцентные лампы питаются от сети переменного тока напряжением 127 и 220 В частотой 50 Гц. Представляют собой стеклянную вакуумированную трубку-колбу, наполненную парами ртути низкого давления (рис. 49). Стенки трубки изнутри покрыты слоем люминофора. Пары ртути в электрическом разряде излучают свет главным образом в ультрафиолетовом диапазоне. Излучение разряда поглощается люминофором и переизлучается в видимую область спектра. Используются лампы мощностью 6, 8, 13, 14, 18, 20, 30, 36, 40, 65 и 80 Вт.



Рис. 48 Лампы накаливания



Рис. 49 Люминесцентные лампы



Потребление электроэнергии при использовании компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) снижается примерно в 5 раз. Средний срок службы ламп различных модификаций составляет 12000 – 15000 ч. При применении КЛЛ существенно снижаются эксплуатационные расходы. С точки зрения эквивалентности светового потока мощности КЛЛ и обычных ламп накаливания соотносятся согласно табл. 17.

Таблица 17

**Соотношение мощностей ламп накаливания и КЛЛ**

Мощность КЛЛ, Вт	Мощность ламп накаливания, Вт
3	15
5	25
7	40
11	60
15	75
20	100
23	120

Уменьшение потребной мощности лампы резко снижает тепловыделение в помещениях при работе осветительной установки. Температура нагрева самой КЛЛ в 2-3 раза ниже, чем у лампы накаливания, что благоприятно сказывается на тепловом режиме светильника и, соответственно, на сроке его службы.

Небольшие колебания напряжения, реально всегда имеющие место в сети, и число включений лампы практически не сказываются на сроке ее службы. Большинство модификаций КЛЛ достаточно уверенно могут работать при температуре окружающей сети от минус 300°С до + 500°С. Следует отметить, что КЛЛ выпускаются с различными оттенками светового излучения, что позволяет создавать необходимые условия световой комфортности и декоративности интерьеров. Компактные люминесцентные лампы оснащаются электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА), встроенными в цоколь лампы и работающими с частотой 40 – 50 кГц. Пульсации светового потока с такой частотой человеческим глазом не ощущаются.

Достоинством галогенных ламп являются неизменно яркий свет, великолепная цветопередача и возможность создания любых световых эффектов. Галогенные лампы применяются для местного и декоративного

освещения жилых помещений, магазинов, гостиниц, ресторанов, галерей и выставок, в которых эффективность использования энергии и низкие затраты на обслуживание имеют большое значение. По сравнению с обычными лампами накаливания галогенные имеют более высокую цветовую температуру (до 3100 К), благодаря чему их свет имеет более сочные и яркие цвета, высокую световую отдачу и долгий срок службы.

Галогенные лампы работают от сети 220 В напрямую без трансформаторов, модели низкого напряжения – от источников питания 6, 12 и 24 В. Галогенные лампы низкого напряжения отличаются миниатюрностью, большим углом падения света, что позволяет создавать компактные и привлекательные системы освещения в самых различных сферах деятельности.

Галогенные лампы являются высокотемпературными излучателями. Добавление галогена обеспечивает более длительную работу лампы, уменьшает вольфрамовый осадок на нити накаливания в результате испарения частиц вольфрама и обеспечивает стабильную светоотдачу. При температуре около 1400°С испаряющийся с нити накаливания вольфрам вступает в химическую реакцию с галогеном, которым наполнена колба лампы. В результате конвекции образовавшийся галогенид циркулирует вблизи нити накаливания и расщепляется. Частицы вольфрама оседают на нити накаливания, а молекулы галогена высвобождаются и готовы принять участие в следующем цикле (рис. 50). Этот циклический процесс и обеспечивает преимущества галогенных ламп:

- большое количество света при одинаковом потреблении электроэнергии вследствие высокой температуры нити накаливания;
- долгий срок службы из-за непрерывного обновления нити накаливания;
- стабильная светоотдача в течение всего срока службы, поскольку не происходит почернения колбы;
- миниатюрность конструкции в соответствии с требованиями циклического процесса.

Газоразрядные лампы высокого давления подходят для использования в осветительном оборудовании, требующем мощных компактных источников света, высокой светоотдачи и долгого срока службы. Лампы применяются для освещения торговых площадей, гостиниц, ресторанов, освещения промышленных помещений, для уличного и дорожного освещения. В газоразрядных лампах высокого давления в качестве источника света используется дуговой разряд в парах металлов высокого давления. В зависимости от сорта паров металла светоотдача в расчете на единицу затраченной электроэнергии в 10 – 20 раз больше, чем у ламп накаливания. Стекло колбы имеет форму цилиндра или эллипсоида. У ртутных ламп колба покрывается изнутри люминофором, преобразующим ультрафиолет

в видимый свет. Внутри колбы помещен реактор с двумя электродами и подводщими токопроводами. В реакторе содержатся пары металла и формируется дуговой разряд (рис. 51).



Рис. 50. Галогенные лампы



Рис. 51. Газоразрядные лампы  
высокого давления

У ртутных ламп горение дугового разряда происходит в парах ртути высокого давления. Лампы эксплуатируются в сетях переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой (ПРА).

В натриевых лампах горение дугового разряда происходит в парах натрия. Лампа излучает характерный желтый свет. Натриевые лампы высокого давления являются в настоящее время наиболее экономичными из всех источников света. Срок службы у них в 12 раз дольше, чем у ламп накаливания и в 1,3 раза дольше, чем у ртутных ламп высокого давления. Световая отдача в 7 раз больше, чем у ламп накаливания и в 2 раза больше, чем у ртутных ламп высокого давления.

Натриевые лампы высокого давления широко применяются для освещения улиц, автотрасс, площадей, промышленных территорий и других открытых пространств, где не предъявляется высокое требование к качеству цветопередачи. Лампы включаются в сеть переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой (ПРА).

Металлогалогенные лампы высокого давления обладают высокой световой отдачей, улучшенной цветопередачей, сравнительно небольшими габаритными размерами, большой единичной мощностью. Лампы предназначены для освещения открытых пространств, промышленных помещений, открытых и закрытых спортивных площадок, а также для освещения объектов выездных и студийных телепередач и киносъемок. Лампы эксплуатируются в сетях переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 В с соответствующей ПРА.

Сравнительные характеристики источников света широкого применения приведены в табл. 18.

Сравнительные характеристики источников света широкого применения

Тип лампы	Световая отдача, лм/Вт	Средний срок службы, ч
Лампы накаливания общего назначения	18 – 22	1000
Линейные 2-цокольные галогенные лампы накаливания (... , 150, 250, 300, 500, 1000, 1500, ... Вт)	18 – 22	2000
Зеркальные галогенные лампы накаливания на напряжение 12 В (20, 35, 50 Вт)	25 – 30	2000 – 3000
Линейные люминесцентные лампы (... , 18, 36, 58, ... Вт)	60 – 80	10 000 – 15 000
Компактные люминесцентные лампы (... , 5, 7, 9, 11, 15, 20, 23, ... Вт)	50 – 60	8000 – 15 000
Ртутные лампы высокого давления с люминофором (типа ДРЛ) (50, 80, 125, 250, 400, 700, ... Вт)	45 – 55	12 000 – 15 000
Металлогалогенные лампы (35, 70, 150, 250, 400, ... Вт)	70 – 100	5000 – 12 000
Натриевые лампы высокого давления (70, 100, 150, 250, 400, ... Вт)	90 – 130	10 000 – 20 000

Важное значение в экономии электроэнергии при применении любых ламп имеет оптимальное размещение осветительных приборов, позволяющее экономить до 20 % электроэнергии. Так, при наличии в одном помещении рабочих и вспомогательных зон следует предусматривать локализованное общее освещение рабочих зон и менее интенсивное – вспомогательных зон.

### **3.9. Электробытовые приборы и их эффективное использование**

Потребление электроэнергии в быту с каждым годом увеличивается, и эта тенденция сохранится, поскольку население в последние годы активно приобретает бытовую технику (стиральные машины, кухонные комбайны, пылесосы, электрочайники, электромясорубки, электрокофеварки и т.д.), являющуюся одним из главных потребителей электроэнергии в домах и квартирах.

Использование электроэнергии в квартирах можно условно разделить на следующие подгруппы:

- обогрев помещений;
- охлаждение и замораживание;
- освещение;
- стирка белья и мойка посуды (с помощью стиральных машин и посудомоющих аппаратов);

- аудио- и видеоаппаратура;
- приготовление пищи (с помощью электроплит);
- использование других электроприборов (пылесосов, утюгов, фенов и т.д.).

В различных домах использование электроэнергии по каждой из вышеперечисленных категорий может варьироваться. Например, в некоторых домах установлены электрические плиты, в других – газовые, для поддержания оптимальной температуры в одной квартире достаточно центрального отопления, в другой – никак не обойтись без электронагревателя.

Ориентировочный расход электроэнергии различными бытовыми приборами приведен в табл. 19.

Таблица 19

**Потребление электроэнергии электроприборами в быту**

Прибор	Потребление, кВт·ч/год
Лампа накаливания 60 Вт	263 (из расчета 12 ч работы в сутки)
Энергосберегающая лампа 9 – 11 Вт	44 (из расчета 12 ч работы в сутки)
Морозильный аппарат	427
Посудомоечный аппарат	475
Электрическая печь	440
Стиральная машина	275
Холодильник	584
Телевизор	180
Видеомагнитофон	150
Кофемолка	65
Компьютер	40
Аудиоаппаратура	35
Утюг	30

Меры по рациональному использованию электроэнергии в быту:

1. Выключение света в том случае и в тех местах, где он не нужен, без ухудшения жизненного комфорта.

2. Замена, где возможно, обычных ламп накаливания энергосберегающими, которые обеспечивают такое же количество света, потребляя при этом на 70 – 80 % энергии меньше, и горят в 5-6 раз дольше обычных.

3. Установка ламп разной мощности, в зависимости от требуемого количества света в определенных местах. Следует знать, что при загрязнении ламп и плафонов освещенность в квартире снижается на 10 – 15 %.

4. Отключение тех электроприборов, для которых предусмотрено дистанционное управление (телевизор, радиотелефон), не только на ночь, но и в тот период, когда ими не пользуются (уход из дома по делам, перерыв и т.п.), поскольку они потребляют электроэнергию, будучи подключенными к сети.

5. Использование стиральной машины при полной загрузке, настраивая ее на как можно меньшую температуру. Следует помнить, что на стирку при температуре + 90°C тратится в 3 раза больше энергии, чем на стирку при температуре + 40°C. При этом известен тот факт, что стиральный порошок растворяется и активно реагирует с грязным бельем при температуре + 40°C.

6. Холодильники и морозильники являются одними из самых значительных потребителей электроэнергии в квартире. На их долю приходится примерно 40 % всей электроэнергии в наших квартирах. Добиться снижения расхода до 25 % электричества можно, если следовать нескольким простым принципам:

- регулярно размораживать холодильник во избежание образования в морозильной камере льда толщиной более 5 – 10 мм;
- устанавливать эти приборы на значительном расстоянии от нагревательных элементов и в местах, не подвергающихся воздействию прямых солнечных лучей;
- обеспечивать вокруг холодильника свободное пространство не менее 1-2 см;
- класть в холодильник и морозильник только холодные продукты;
- обращать внимание на плотность примыкания дверей к корпусу;
- держать дверцу открытой как можно меньше;
- удалять не реже 1-го раза в год пыль с обратной стороны приборов;
- отключать холодильник от электросети, если семья уезжает из квартиры на несколько дней.

7. Использование газовых плит является с точки зрения экологии лучшим вариантом, чем приготовление пищи на электроплитах. Но если в квартире установлена электроплита, то экономии электроэнергии можно достигнуть за счет:

- подбора кастрюли или сковороды с идеальной плоской внешней поверхностью, диаметр дна которых должен быть примерно на 3 см больше диаметра нагревательной поверхности плиты;
- выключения электроплиты на несколько минут раньше окончания варки или жаренья продуктов;
- использования посуды с крышкой;
- добавления оптимального количества воды.

8. При покупке электробытовых приборов в первую очередь необходимо интересоваться не только ценой, но и энергосберегающими параметрами, и лишь сопоставив цену с эксплуатационными расходами, следует принимать решение о возможности приобретения нужного электробытового товара.

## 4. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### 4.1. Структура энергопотребления строительного комплекса

В энергобалансе республики потребление энергии предприятиями Министерства архитектуры и строительства составляет 6,2 %. Потребление энергоресурсов строительного комплекса достигло 1751 тыс. т у.т. при общем расходе по республике 28 274,4 тыс.т у.т (по данным 2006 г.).

В структуре прямых обобщенных энергозатрат отрасли по видам энергоносителей (рис. 52) преобладает котельно-печное топливо – 1388,7 тыс. т у.т. (79,3 %); электрическая энергия составляет 1129,3 млн кВт·ч (316,2 тыс. т у.т. – 18,1 %); тепловая энергия, полученная со стороны, – 263,6 тыс. Гкал (46,1 тыс. т у.т. – 2,6 %) [15].

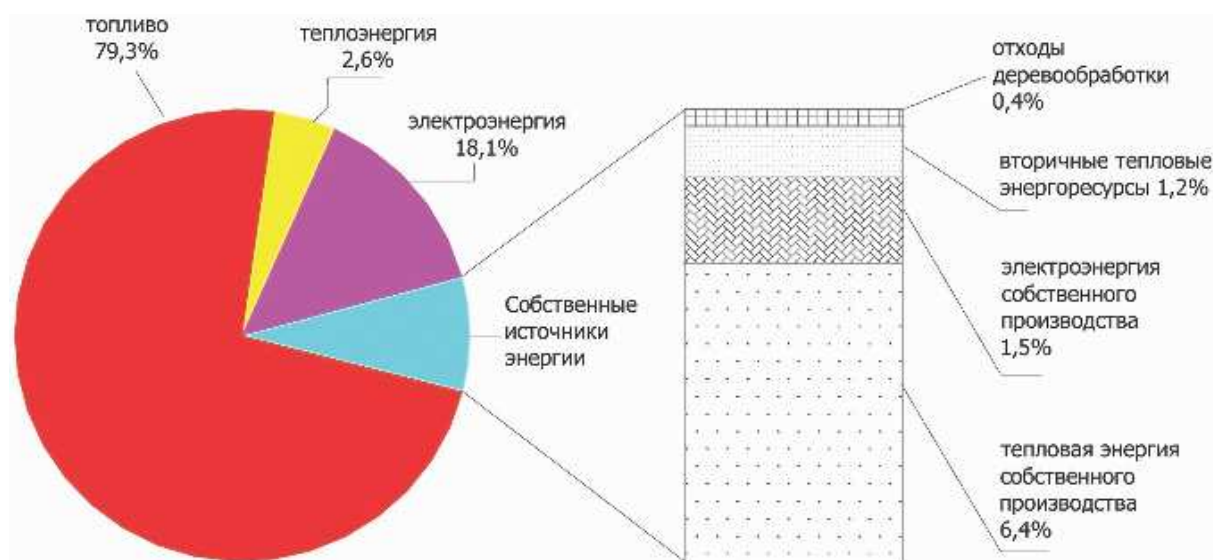


Рис. 52. Источники поступления энергоносителей Минстройархитектуры

На долю строительных организаций в структуре прямых обобщенных затрат приходится 67,6 тыс. т у.т., или 3,9 % от общего потребления энергоресурсов. Основную их часть в системе Министерства архитектуры и строительства потребляют предприятия промышленности строительных материалов ( $\approx 90$  %).

Производство строительных материалов связано с использованием высоких температур для получения требуемого минералогического состава и структуры материала с высокими физико-техническими свойствами. Например, при варке стекла температура достигает  $1500^{\circ}\text{C}$  и выше, при обжиге цементного клинкера –  $1450^{\circ}\text{C}$ , извести –  $1100 - 1200^{\circ}\text{C}$ , керамического кирпича –  $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$  и т.д. Кроме того, для эффективного прове-

дения технологического процесса и протекания физико-химических реакций формирования структуры требуется предварительное высокодисперсное измельчение компонентов сырьевых смесей, что связано с большими затратами электроэнергии. С учетом многотоннажных масс, перерабатываемых в производстве строительных материалов, становится понятной та большая доля энергоресурсов, используемых в этой промышленности.

Энергопотребление строительного комплекса приведено на рис. 53.

В общем объеме потребляемого топлива в строительном комплексе расходы на производство цемента составляют 37,6, извести – 10,7, стекла – 9,4, плитки керамической – 4,6, кирпича керамического – 4,6 %. Таким образом, выпуск этих пяти видов стройматериалов отвлекает на себя 66,9 % всех энергоресурсов, в то время как на изготовление силикатного кирпича и ячеистого бетона вместе взятых расходуется только 3,4 % от всего энергопотребления отрасли.

Эти же материалы имеют и наиболее высокие затраты топлива на единицу продукции: известь – 299,9 кг у.т. на т; стекло – 282,8 кг у.т. на т листового стекла; керамический кирпич – 204,4 кг у.т. на тыс. шт. у.к.; обжиг цементного клинкера – 200,8 кг у.т. на т (по данным 2006 г.) [15].

Что касается керамической плитки, затраты топлива, отнесенные к 1 м<sup>2</sup>, говорят не в пользу энергоэффективности технологического процесса. Если же их отнести к массе, то производство тонны плитки окажется более энергозатратным, чем вышеперечисленных материалов.

## **4.2. Энергосбережение при производстве строительных материалов**

### **4.2.1. Энергоэффективные технологии производства цемента**

Высокая энергоемкость цемента и извести связана с природными свойствами сырья – высокая естественная влажность и низкая прочность, что и предопределило в свое время выбор способа производства. Если влажность сырья при разработке существующих месторождений принципиально не изменяется, то используемые технические решения и оборудование претерпели значительные изменения.

В Республике Беларусь цемент производится на трех предприятиях: ОАО «Красносельскстройматериалы» (Волковыск), ПРУП «Кричевцементношифер» (Кричев) и ПРУП «Белорусский цементный завод» (Костюковичи). Динамика выпуска и потребления цемента представлена на рис. 54.



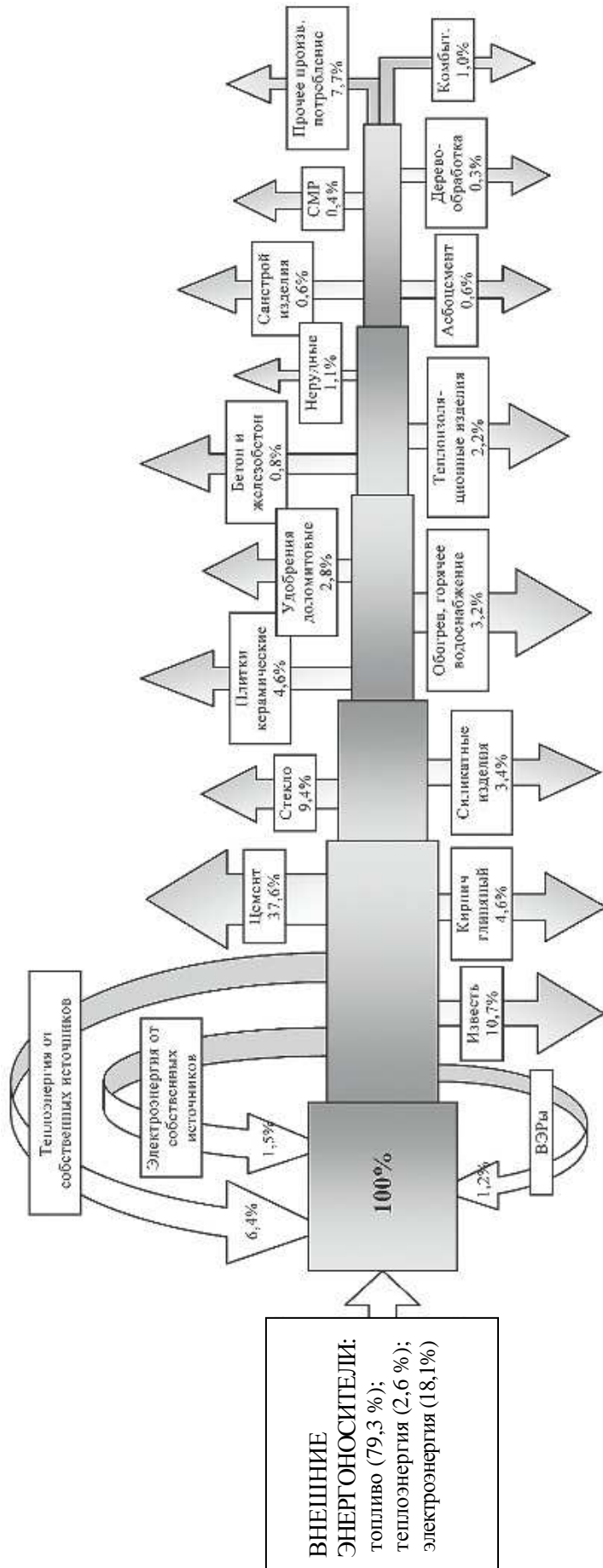


Рис. 53. Баланс энергопотребления строительного комплекса Республики Беларусь

Примечание: за 100 % принимается суммарное энергопотребление строительного комплекса

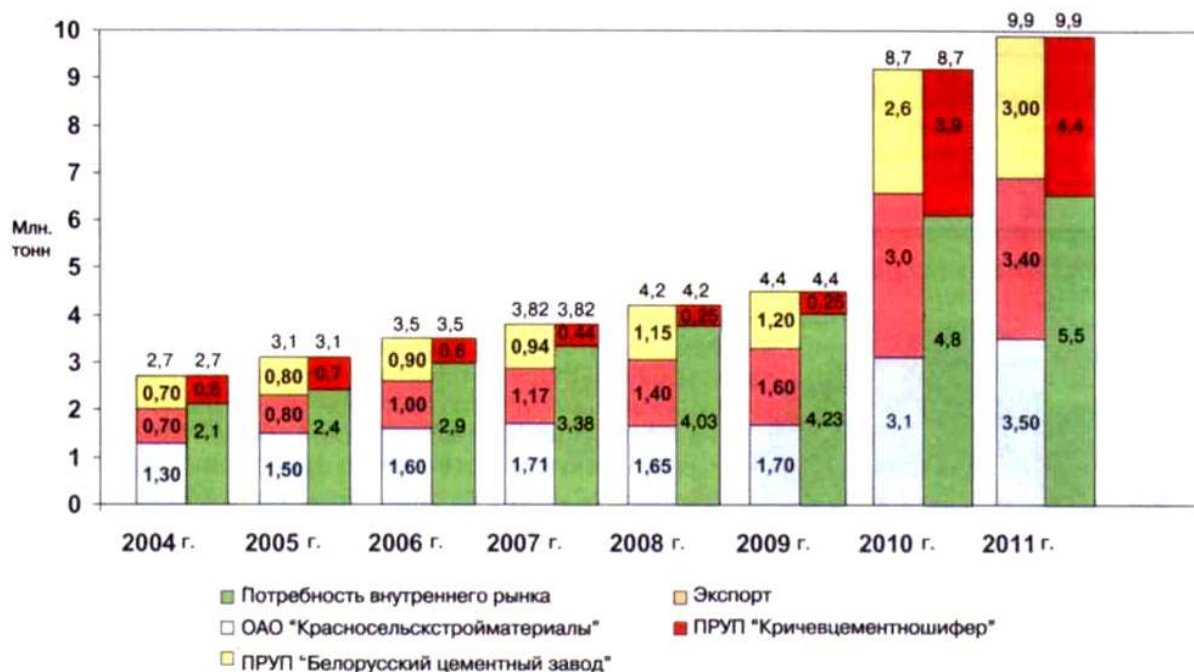


Рис. 54. Производство цемента на цементных заводах Республики Беларусь

В Беларуси цемент производится двумя способами: мокрым – на цементных заводах в Волковыске и Кричеве и сухим – в Костюковичах. Средний расход топлива на тонну клинкера при изготовлении мокрым способом составил 210 кг у.т., сухим – 183,9 кг у.т. (по данным 2006 г.).

В то же время затраты электрической энергии при сухом способе производства по сравнению с мокрым выше в 1,73 раза (188,7/109). Как следствие, суммарные затраты энергии (топливо + электроэнергия) на ОАО «Красносельскстройматериалы» несколько ниже, чем на ПРУП «Белорусский цементный завод» (в 2006 г. – на 4 кг у.т.), однако затраты на единицу продукции невозобновляемого топлива здесь выше на 18 кг у.т. В целом на долю цемента, как указывалось выше, приходится 37,4 % всего объема энергоносителей, потребляемых в производстве строительных материалов.

На основе анализа уровня производства цемента в республике, эффективности технических решений и используемого оборудования, принято решение о модернизации цементной промышленности. Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь разработана Программа развития цементного производства до 2010 г., предусматривающая переход на сухой способ с использованием новейших мировых достижений, что позволит экономить 25–30 % энергоресурсов.

Вторым направлением экономии невозобновляемых видов топлива является **применение топливосодержащих отходов** при обжиге цемент-

ного клинкера, как это делается в мире, когда используется все, что горит. Таким образом, можно замещать основное топливо на 20 – 40 %.

На ПРУП «Кричевцементношифер» и в ОАО «Красносельскстройматериалы» успешно внедрен новый процесс сжигания автомобильных покрышек, который не только утилизирует вторичное сырье, но до 10 % замещает расход основного топлива (рис. 55).

Особенности этого процесса заключаются в том, что составляющие автомобильных покрышек пригодны в качестве корректирующих добавок в цемент. Таким образом, при их использовании не остается каких-либо отходов. Дальнейшее увеличение установленного объема их потребления невозможно, т.к. отрицательно скажется на качестве конечной продукции.

На двух цементных заводах в Волковыске и Костюковичах идут работы по подготовке сжигания изношенных шин при обжиге клинкера.



Рис. 55. Установка по утилизации изношенных автомобильных покрышек во вращающейся печи обжига клинкера в ОАО «Красносельскстройматериалы»

Третье направление по снижению энергозатрат при производстве цемента – **переход с природного газа на каменный уголь**. Использование угля не снижает удельные расходы условного топлива, но на данном этапе уменьшает общие затраты на производство единицы продукции. Если при производстве лицевого кирпича, плитки, строительного стекла, сортовой посуды, фарфоро-фаянсовых и сантехнических изделий уголь применять нельзя из-за присущей ему зольности, то в производстве цемента использование угля не вызывает никаких отрицательных последствий для качества продукции, поскольку зола является компонентом цементносырьевой смеси. С учетом данного обстоятельства, а также доли затрат топлива,

расходуемой на выпуск цемента, основные усилия в настоящее время направлены на перевод технологического оборудования цементной отрасли на каменный уголь.

В мире на данном этапе более 80 % цемента производится с использованием угля и топливосодержащих отходов. Так, к концу XX столетия в странах Западной Европы на долю углей и высокосернистого мазута приходилось 97 % и лишь 3 % - на природный газ (табл. 20).

Таблица 20

**Анализ структуры топливопотребления в цементной промышленности мира [38]**

Страна - производитель	Доля вида топлива при производстве цемента, % (по данным на 1989 г.)		
	уголь	мазут	газ
Дания	81	19	0
Финляндия	100	0	0
Германия	86	8	2
Франция	93	5	2
Италия	64	30	6
Люксембург	95	5	0
Норвегия	91	9	0
Португалия	98	2	0
Испания	94	5	1
Швеция	99	1	0
Швейцария	78	18	4
Турция	78	22	0
Англия	96	1	3

Основным технологическим топливом белорусских цементных заводов является природный газ, резервным – мазут.

Проведенные УП «НИИСМ» расчеты показали, что при цене на природный газ более 130 – 140 USD /1 тыс. м<sup>2</sup> перевод цементных заводов на твердое топливо может быть эффективным.

При цене на газ 210 – 230 USD /1 тыс. м<sup>2</sup> стоимость 1 кг у.т. при сжигании газа в печах в два раза выше, чем при сжигании твердого топлива.

Перевод цементных заводов на угольное топливо потребует использования валковых мельниц. С их помощью удельные энергозатраты на помол угля снижаются на 20 – 50 % по сравнению с шаровыми мельницами. Кроме того, максимально оптимизируются процессы подготовки и сжигания различных видов и смесей топлива.

В этих условиях возрастает целесообразность использования шин, лигнина, горючих бытовых и других промышленных отходов в качестве топлива.

#### **4.2.2. Энергоэффективные технологии производства извести**

Известь – один из самых энергозатратных продуктов. В балансе энергоресурсов в системе Минстройархитектуры на ее долю приходится 10,7 % общего объема потребления.

Для производства извести в Беларуси существуют большие запасы мела, характеризующегося достаточно высоким содержанием  $\text{CaCO}_3$ , но имеющего высокую карьерную влажность и весьма низкую прочность. К сожалению, камнеподобным сухим карбонатным сырьем, которое можно было бы обжигать на кальциевую известь в высокоэкономичных шахтных печах, республика не располагает.

Действующая технология производства извести предопределена рыхлостью и влажностью сырья. Обжиг его производится во вращающихся печах так называемым «мокрым» способом, который имеет два весьма существенных недостатка:

- высокий удельный расход топлива на единицу продукции;
- качество выпускаемой извести, имеющей малую, не превышающую 75 % активность, низкое.

В то же время по химическому составу сырье хорошее. Содержание в нем карбоната кальция дает возможность получить известь первого сорта активностью 90 % и более. Однако из-за несовершенства технологии ведущие известковые заводы страны в Волковыске и Гродно выпускают более 90 % извести третьего сорта.

На сегодняшний день в стране затрачивается 280 – 320 кг у.т. на производство 1 т извести 2-3-го сортов. Это в два раза больше, чем при обжиге сухого прочного кускового известняка в современных шахтных печах. Для отечественного сырья с влажностью от 25 до 30 % технически достижимый удельный расход условного топлива составляет 180 – 200 кг на 1 т извести второго сорта. Как видно, в реальности энергозатраты в 1,5 – 2,0 раза выше.

Дело в том, что в принятом у нас «мокрым» способе к влажному природному сырью в процессе производства добавляют воду, которую затем нужно испарять, затрачивая дополнительное топливо. При выпуске 1 т извести во вращающейся печи из мелового шлама влажностью 44 % приходится испарять до 1,3 т воды: 600 кг природной влаги сырья и 700 кг до-

бавленной при роспуске мела в меловой шлам. Только на это дополнительно уходит 30 % топлива.

Кроме того, высокий удельный расход тепла при обжиге минерального сырья во вращающейся печи вызван тем, что обжигаемый материал занимает лишь 10 % объема и сечения печи, что не способствует интенсивному теплообмену из-за плохого контакта греющего газа с материалом. В результате расход топлива возрастает, а уровень декарбонизации сырья низкий.

К тому же для вращающихся печей из-за отсутствия тепловой изоляции характерен высокий (18 – 20 %) выход тепла в окружающую среду – в 2-3 раза больший по сравнению с печами других конструкций. Во вращающихся печах происходит также дополнительное измельчение материала, это вызывает повышенный пылевынос из печи и снижает экономичность. Что касается производства порошковой извести, то после обжига мела во вращающихся печах полученную комовую известь размалывают в энергоемких шаровых мельницах, в которых до 40 % энергии уходит на внутреннее трение и нагрев размалываемого материала.

Таким образом, существующая технология, которой более 40 лет, и ее техническое обеспечение устарели по двум основным критериям – качеству выпускаемой продукции и удельному расходу энергоносителей. Это и явилось толчком к созданию новой, свободной от этих недостатков технологии производства извести.

#### **«Сухой» способ производства извести во вращающихся печах [5]**

В Беларуси имеется девять вращающихся печей для обжига извести «мокрым» способом из мелового карбонатного сырья:

- 5 печей 3,6×110 м, ОАО «Красносельскстройматериалы»;
- 2 печи 3,6×92 – 100 м, ОАО «Гродненский КС»;
- 1 печь 3,6×1210 м, ОАО «Любанский КС» (на консервации);
- 1 печь 3,2×80 м, ОАО «Забудова».

В процессе работы над энергосберегающей технологией специалистами УП «НИИСМ» проработаны и просчитаны все возможные варианты перевода действующих вращающихся печей с «мокрого» способа на «сухой», при котором исходное природное сырье недоувлажняется до жидкотекучего состояния и соответственно не требует дополнительных энергозатрат для испарения добавленной воды.

Проработаны различные варианты перевода печей на «сухой» способ путем:

- 1) удлинения печей до 150 м с начинкой их необходимыми встроенными теплообменными устройствами;

2) строительства за печами дополнительных наружных теплообменных устройств;

3) превращения длинных печей в двухбарабанные с разным числом оборотов и начинкой их «холодной» части встроенными теплообменными устройствами;

4) достройки к действующим печам шахтных сушилок-дробилок;

5) начинки печей высокоэффективными встроенными теплообменными устройствами.

Специалистами УП «НИИСМ» было установлено, что наиболее оптимальным вариантом является перевод печей  $3,6 \times 110$  м на «сухой» способ путем обустройства их высокоэффективными встроенными теплообменниками.

В настоящее время по «сухой» технологии работает вращающаяся печь  $3,6 \times 110$  м на Белорусском цементном заводе в г. Климовичи. Экономия топлива составляет 15 %, завод устойчиво производит известь с более высокой активностью 180 % по сравнению с заводами, работающими по «мокрому» способу.

### **Энергосберегающая скоростная технология производства высококачественной порошковой извести [5]**

Строительство и успешное освоение «сухого» способа производства цемента из рыхлого и влажного мела и мергеля на Белорусском цементном заводе в Костюковичах навело на мысль, что пора и выпуск извести поставить на принципиально новую основу. Сырье Белорусского цементного завода аналогично сырью известковых заводов Республики Беларусь.

Идея состоит в том, чтобы от медленных, вялых процессов тепло-массообмена при производстве извести во вращающихся печах и энергоемкого помола в шаровых мельницах перейти к скоростным процессам тепло-массообмена при сушке и обжиге на известь тонкомолотого карбонатного сырья во взвешенном состоянии (в газовой суспензии).

Для ее реализации использован как собственный опыт, приобретенный на Белорусском цементном заводе, так и мировая практика: цементные заводы «Хэлм» (Польша), «Себряки» (Россия) и др.

Концепция принципиально новой технологии состоит в следующем.

1. Для производства извести используется сырье (мел) природной (карьерной) влажности. В отличие от применяемой ныне технологии воду к сырью дополнительно не добавляют. Сырье заготавливают в сухое время года в открытый или закрытый мелозапасник с целью снижения его влажности и усреднения химсостава.

2. Усредненное сырье проходит сушку, выделение камней и тонкий помол в сушилке-дробилке F.L. Smidth, работающей на отходящих газах от скоростного обжигового агрегата. Тонкомолотый сухой мел выделяется из газового потока в циклоне-осадителе, гомогенизируется в силосе сырьевой муки и подается в скоростной обжиговой агрегат, где обжигается на высокоактивную тонкопорошковую известь. Таким образом, высушивается и обжигается на известь не карбонатное сырье с размером кусков 20 – 40 мм, а тонкий порошок, диаметр частиц которого составляет доли миллиметра. Это ускоряет процессы сушки и обжига на 2-3 порядка, т.е. в 100 – 1000 раз.

Отходящие газы из сушильнообжигового агрегата после циклона-осадителя дымососом направляются в рукавный фильтр для окончательной очистки.

3. Скоростной обжиговой агрегат имеет ступень нагрева сырьевой муки в циклонном теплообменнике, реактор-декарбонизатор, циклон-осадитель извести и многоступенчатый циклонный холодильник. В реакторе при температуре 950°C за счет вводимого в него топлива происходит скоростной обжиг нагретой сырьевой муки в горячем воздухе; из холодильника – происходит диссоциация  $\text{CaCO}_3$  на  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$ .

4. Полученная в реакторе-декарбонизаторе известь оседает в циклоне первой ступени (циклоне-осадителе) и попадает в холодильник циклонного типа, где охлаждается до 40°C.

5. Колоссально развитая поверхность тонкомолотого сырья, кроме скоротечности тепломассообмена снижает до минимума перепад температуры между газовой фазой и материалом, что исключает пережог извести и потребность футеровки реактора огнеупорами особо высокой огнеупорности. Температура в реакторе не выше 950°C, имеет место беспламенное горение топлива. Реактор может работать на пылевидном твердом топливе. Производится известь «мягкого» обжига.

6. Вследствие скоростного характера процессов тепломассообмена и химических реакций, малой инерционности достигаются точная регулировка температурного и гидравлического режимов, получение извести высокого качества и возможность полной автоматизации технологии и компьютеризации.

Степень декарбонизации сырья обеспечивается на уровне 99,0 % и более вместо 85 – 90 % при обжиге извести во вращающихся печах.

7. Технология становится полностью химической, все тепловые и химические процессы проходят в герметичных установках. Тем самым достигаются высокий уровень защиты окружающей среды и хорошие условия для обслуживающего персонала.



Производство полностью безотходное.

8. Минимальное количество испаряемой влаги, низкая температура отходящих газов, низкие потери тепла в окружающую среду благодаря герметичности и хорошей теплоизоляции неподвижных реакторов и теплообменников позволяют получить минимальный расход топлива на единицу продукции: в пределах 200 кг у.т. на 1 т извести второго сорта вместо 320 – 340 кг по традиционной технологии. При использовании для сушки мела отходящего от газотурбозлектрогенератора тепла удельный расход топлива снижается до 140 – 145 кг на 1 т.

9. В связи с тем, что осуществляется помол исходного тонкодисперсного от природы сырья, а не обожженной комовой извести, как по традиционной технологии, исчезает необходимость применения энергоемких шаровых мельниц, в которых 40 % энергии затрачивается на внутреннее трение материала в процессе помола. Это снижает расход электроэнергии.

10. Готовый продукт представляет собой тонкомолотую высокорреакционноспособную известь, применение которой позволит упростить технологию на силикатных заводах, так как отпадает необходимость помола.

Разработан регламент и основные технические решения перевода с «мокрого» на «сухой» способ известкового завода ОАО «Красносельскстройматериалы». Внедрение данной технологии планируется в ОАО «Красносельскстройматериалы» в 2009 г.

Строительство и освоение первой установки скоростного обжига извести откроет также перспективу использования доломита, запасы которого в Беларуси очень большие, для производства различных вяжущих материалов – магнезиальной извести, каустического доломита, цемента. Кроме того, вполне реализуема возможность поставки комплектного оборудования для производства порошковой извести в другие страны, поскольку в мире аналогов предлагаемой установке по выпуску кальциевой извести пока нет.

#### 4.2.3. Энергосбережение при производстве кирпича

Анализ энергопотребления в производстве керамического кирпича показывает, что снижение затрат топлива на его выпуск возможно по нескольким направлениям. Прежде всего – это организация массового **производства поризованной пустотелой** керамики, что позволит снизить затраты топлива на 15 %.

В 2005 г. в ОАО «Радосшковичский керамический завод» по технологии, разработанной специалистами УП «НИИСМ», освоено производство

эффективных пустотелых керамических блоков с поризованным черепком, теплопроводность которых приближается к ячеистому бетону. В 2006 г. начата реализация программы расширения производства пустотелой поризованной стеновой керамики, предусматривающей организацию ее выпуска на Минском заводе стройматериалов, Обольском керамическом заводе и в акционерном обществе «Керамика» в Витебске.

Второе направление – **повышение пустотности**, что снижает материалоемкость и, соответственно, затраты топлива на обжиг. И третье – **реконструкция туннельных печей** с устройством газонепроницаемых корпусов на всех предприятиях.

Поризованные керамические блоки отличаются от традиционного керамического кирпича особой структурой материала. Множество крохотных пор в самой массе пустотелого керамического кирпича делает его плотность на 30 % ниже, а теплотехнические характеристики – вдвое выше, чем обычного пустотелого.

Легкий за счет снижения плотности и достаточно прочный для строительства многоэтажных зданий с несущими стенами материал дает возможность производить крупноформатные блоки, которые по размеру превосходят обычный кирпич в несколько раз (до 15 штук обыкновенного стандартного кирпича). Использование таких блоков существенно сокращает количество «мостиков холода» и приводит к значительному тепло-сберегающему эффекту. Зачастую использование поризованной керамики исключает необходимость дополнительной теплоизоляции стен. Благодаря этим качествам, поризованную керамику нередко называют «теплой».

Кроме того, данный материал значительно улучшает звукоизолирующие свойства стен и перегородок. «Воздушные» стены позволяют упростить конструкцию фундаментов, благодаря чему достигается существенное сокращение средств (до 60 %), используемых для их возведения. В целом, здания и сооружения, созданные из поризованной керамики, экологически чисты, комфортны, экономичны и долговечны.

В Западной и Центральной Европе выпуск поризованной керамики под торговыми марками Poroton, Thermopor, Porotherm составляет 70 – 80 % от общего объема производства керамических стеновых материалов. В России крупноформатные поризованные блоки выпускает предприятие «Победа/Кнауф» в Санкт-Петербурге. Пустотность блоков - 45 %, общая плотность – 770 – 1000 кг/ м<sup>2</sup>, коэффициент теплопроводности 0,17 – 0,26 Вт/м°С.

Технология поризации керамического черепка для получения стеновой керамики с высокими теплозащитными свойствами широко использу-

ется в мировой практике в течение нескольких десятилетий. При подготовке сырья в него добавляются в качестве поризующих добавок гранулированные органические материалы – отходы различных производств, опилки. Лучшим и наиболее распространенным поризатором является вспененный полистирол с размером гранул до 3 мм. В Беларуси в качестве местных выгорающих добавок в производстве керамики могут использоваться: торф, опилки, щепа, лисья, солома.

На этапе обжига добавки выгорают, а на их месте образуются воздушные поры. Получаемые изделия отличаются улучшенными теплозащитными свойствами. Коэффициент теплопроводности находится в пределах от 0,14 до 0,26 Вт/м<sup>°С</sup> при общей плотности от 600 до 1000 кг/м<sup>2</sup> и механической прочности от 5 до 15 МПа. Низкая теплопроводность обусловлена высокой пустотностью изделий, рациональной конфигурацией и расположением пустот, а также пористостью черепка за счет введения выгорающих добавок.

При этом производство поризованной керамики в основном направлено на выпуск крупноразмерных керамических блоков (рис. 56).



Рис. 56. Образцы стеновых материалов из поризованной керамики зарубежных производителей

Учитывая современные тенденции на повышение долговечности зданий и сооружений, снижение затрат на содержание фасадов, повышение термического сопротивления ограждающих конструкций, становится очевидным, что в дальнейшем одним из приоритетов в строительстве должно быть направление на создание долговечных жилых домов с высокими потребительскими свойствами.

Для осуществления этого замысла предусмотрено увеличение объемов производства пустотелых поризованных блоков с постепенным расширением их номенклатуры и размерного ряда.

На первом этапе на ОАО «Минский ЗСМ», ОАО «Керамика» в Витебске, КПУП «Обольский керамический завод» и ОАО «Радошковичский керамический завод» планируется организация производства керамических поризованных блоков форматом 2 – 5 NF (NF – единица, равная размеру стандартного кирпича (250×120×65 мм)). Второй этап предполагает переход на выпуск крупноформатных изделий размером более 5 NF.

Опыт внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятии ОАО «Керамин» показал, что обжиг кирпича в туннельной печи с газонепроницаемым корпусом способствует значительному снижению расхода топлива 145,4 кг у.т. (при среднем расходе топлива на производство кирпича в 2006 г. 204,4 кг у.т. на тысячу штук). Кроме того, здесь выпускают кирпич с пустотностью 42 %. Эти факторы обеспечили снижение затрат топлива по сравнению со средним по отрасли уровнем на 40 %.

#### **4.2.4. Энергосбережение при производстве стекла**

Производство стекла – высокотемпературный и энергоемкий процесс, температура стекловарения достигает 1550 – 1600°С. В 2006 г., например, на выпуск тонны листового стекла израсходовано 282,6 кг у.т., а в общем объеме используемого в строительном комплексе топлива на производство стекла – 164,6 тыс. т у.т., или 9,4 %. Более энергозатратным из всех строительных материалов является только производство извести.

Основной тепловой и технологический агрегат в производстве стекла – регенеративная ванная стекловаренная печь непрерывного действия. В Беларуси все стекловаренные печи работают на природном газе. Альтернативного и более экономичного топлива в мировой практике не существует.

В соответствии с отраслевой научно-технической программой «Модернизация стекловаренных печей предприятий Республики Беларусь» в УП «НИИСМ» разработана технология, предусматривающая комплекс научно-технических мер по достижению технико-экономических показателей на уровне передовых зарубежных фирм. Работы по модернизации и тепловой изоляции стекловаренных печей включают: изменение конструктивных элементов печи; установку устройств по интенсификации технологических процессов; изоляцию кладки стен с использованием огнеупорных теплоизоляционных материалов. При тепловой изоляции печи суммарные

потери тепла через ограждающие поверхности уменьшаются в среднем в 2,5 – 3 раза. Это позволяет сократить потери тепла на 15 – 20 %.

При модернизации стекловаренных печей по производству листового стекла и стеклянной тары различной производительности тепловой КПД повышается до 30 – 50 % за счет увеличения удельного съема стекломассы в 1,5 – 2 раза (1500 – 2500 кг/м сут).

В настоящее время модернизировано 2/3 действующих стекловаренных печей предприятий отрасли – ОАО «Гомельстекло», ОАО «Гродненский стеклозавод», СЗАО «Стеклозавод “Елизово”», ОАО «Стеклозавод “Неман”», ПРУП «Борисовский хрустальный завод», что позволило сэкономить 72 тыс. т у.т. Работы по модернизации остального парка стекловаренных печей будут продолжены в 2008 – 2010 гг.

Проведенное обследование конструктивных элементов показало, что исполнение их основных элементов стекловаренных печей (регенераторов, горелочных устройств, варочного и выработочного бассейнов) не соответствует представлениям о современных высокопроизводительных печах. Для повышения их эффективности предлагаются различные технические решения [2].

Дно варочного бассейна выполняется многослойным – из двух рядов донных шамотных брусьев толщиной 600 мм. Для защиты шамотных брусьев от коррозии применяются два ряда цельнонаполненной бакоровой плитки толщиной 100 мм. Такая изоляция дна снижает тепловые потери (примерно в 2,5 раза), полностью исключается образование придонного переохлажденного слоя стекломассы, что существенно улучшает качество вырабатываемого стекла.

Глубина варочного бассейна при этом увеличивается на печах цветного тарного стекла с 700 до 1000 мм, на печах бесцветного стекла – с 900 до 1200 мм. Площадь варочного бассейна определяется с учетом максимальной производительности стеклоформирующего оборудования и предельно допустимого удельного съема стекломассы.

При модернизации печей наиболее проблематичной оказалась конструкция регенераторов, размеры которых ограничивают возможность увеличения объема насадки до значений, характеризующих современные высокопроизводительные печи, – 2,5 – 3,0 м<sup>3</sup> насадки на 1 м<sup>2</sup> площади варочного бассейна. Для интенсификации работы регенераторов при модернизации печей выполнен ряд технических мероприятий. Насадка Лихте из стационарных шамотных кирпичей заменена насадкой из фасонных изделий чашечного типа. В результате площадь поверхности насадки, контактирующей с продуктами горения с отходящей стороны и воздухом с рабо-

тающей стороны печи, увеличилась на 40 % для чашечной конструкции с размерами ячейки 150×150 мм. Эффективные насадки чашечной конструкции успешно внедрены в ОАО «Гомельстекло» (на ванной печи (в/п) ЦПС), ОАО «Гродненский стеклозавод» (в/п № 2 и 4).

Тепловая и техническая эффективность модернизированных печей в целом повысилась за счет увеличения высоты насадок до 8-9 м, использования оптимального отношения ширины к длине варочного бассейна (1:1,5) на печах с подковообразным направлением пламени, установок комбинированного бурления стекломассы, переливных порогов, заглубленных протоков, изолированных выработочных каналов и камер, горелок с нижним подводом топлива.

Внедрение тепловой изоляции при модернизации стекловаренных печей позволило в 2006 г. сократить затраты на 25 235 т у.т., или 15,3 % от общего расхода топлива на производство стекла. К примеру, в цехе полированного стекла ОАО «Гомельстекло» при одновременной замене насадки Лихте на насадку чашечной конструкции зарубежных фирм WETRO и MOTIM в 3 – 5 камерах секционных регенераторов дало следующие положительные результаты: потери тепла через ограждения огнеупорной кладки печи уменьшились с 24,5 до 12 %, удельный расход тепла на варку 1 кг стекла снизился до 1490 ккал/кг при 1625 ккал/кг по проекту. По основным технико-экономическим параметрам печь соответствует среднеевропейским нормативам. Однако срок службы огнеупоров данной печи меньше по сравнению с аналогами в странах ЕС.

В ОАО «Гродненский стеклозавод» проведена модернизация и теплоизоляция четырех из шести действующих печей: по производству бутылок из цветного стекла в/п № 2, 3 и 7; стеклянных блоков и бутылок из бесцветного стекла в/п № 4. В результате проведенной модернизации значительно улучшились основные технико-экономические показатели указанных печей, их суточная производительность увеличилась на 35 %, коэффициент полезного действия повысился с 25,2 до 31,2 %, в том числе на в/п № 7 – до 37,2 %.

В результате реконструкции и модернизации стекловаренных печей № 1 и 2 по производству стеклянной тары на СЗАО «Стеклозавод “Елизаво”» их производительность увеличилась в 2 раза – со 115 до 230 т стекломассы в сутки; удельный съем с 1 м<sup>2</sup> варочной площади повысился с 1548 до 2186 кг/м<sup>2</sup>·сут расход тепла на варку 1 кг стекломассы снизился с 2542 до 1598 ккал/кг (62,8 %) [2].

#### 4.2.5. Использование вторичных энергоресурсов на предприятиях стройматериалов

Для промышленности строительных материалов характерны следующие агрегаты – источники выхода ВЭР: вращающиеся цементные и известковые печи; стекловаренные печи; печи обжига керамзита; печи обжига керамических изделий; паровые и водогрейные котлы; компрессоры; автоклавы; пропарочные камеры железобетонных изделий.

Значительная часть ВЭР образуется в процессе совершения тех или иных технологических процессов (обжиг клинкера, варка стекломассы), а их выход происходит с отходящими газами, теплоизлучением, загрязненным конденсатом отработавшего пара и т.д. В большинстве случаев данные ВЭР относятся к высоко и среднепотенциальным. Следует также отметить, что многие технологические агрегаты по условиям их работы подвергаются искусственному охлаждению (компрессоры, вращающиеся, стекловаренные печи и т.д.), в результате чего осуществляется выход низкопотенциальных ВЭР, к которым относятся вентиляционные выбросы, промышленные и хозяйственно-бытовые стоки.

В ходе проведенных исследований на предприятиях по производству цемента, извести и стекла классифицированы потоки, представляющие интерес в качестве возможных источников выхода и использования ВЭР: высокопотенциальные – отходящие газы стекловаренных печей, печей обжига клинкера; среднепотенциальные – отходящие газы **леров**, сушильных барабанов; низкопотенциальные – вентиляционные выбросы, промышленные и хозяйственно-бытовые стоки, системы оборотного водоохлаждения компрессорного и технологического оборудования. Рассмотрим более детально перечисленные потоки и энергоносители.

Энергообследованием стекольных заводов (ПРУП «Борисовский хрустальный завод», ОАО «Гомельстекло», ПРУП «Гродненский стеклозавод», СЗАО «Стеклозавод “Елизово”», ОАО «Стеклозавод “Неман”») и предприятий по выпуску цемента и извести «мокрым» способом (ПРУП «Кричевцементношифер», ОАО «Красносельскстройматериалы») выявлен общий выход ВЭР (с учетом низкопотенциального тепла) в размере 1660 тыс. Гкал (290,5 тыс. т у.т.), в том числе при производстве цемента по «мокрому» способу – 966,3 тыс. Гкал; стекольной продукции – 289; при производстве извести – 404,7 тыс. Гкал. Определены также долевые составляющие структуры суммарного выхода ВЭР по энергетическому потенциалу: высокопотенциальные – 45; среднепотенциальные – 43; низкопотенциальные – 12 %.

По оценкам специалистов, возможная экономия топлива за счет утилизации ВЭР рассмотренных производств составляет 26,4 тыс. т у.т., в том числе при производстве цемента по «мокрому» способу – 3,2; при производстве стекольной продукции – 23,2 тыс. т у.т. [13].

К местным видам топлива (МВТ), используемым на предприятиях Минстройархитектуры, относятся топливный торф; дрова для отопления; отходы лесозаготовок и деревообработки; отработанные нефтепродукты. В основном за счет их получают теплоэнергию (водяной пар, горячую воду), отработанные нефтепродукты применяют также в высокотемпературных технологических процессах таких, как производство керамзита.

Суммарная экономия (прирост потребления) ВЭР и МВТ на подведомственных предприятиях Минстройархитектуры в 2006 г. составила 5846 т у.т. Так, за счет использования ВЭР (24 мероприятия) сэкономлено 3734 т у.т.; местных видов топлива (49 мероприятий) – 2112 т у.т.

Достигнутый экономический эффект от внедрения мероприятий исчисляется суммой в 876 млн руб.: использование МВТ дало 293, а ВЭР – 583 млн рублей. На внедрение в топливный баланс предприятий местных ТЭР направлено 312 млн руб. В их числе собственные средства предприятий составили 262 млн руб.; льготный кредит – 45,5; другие источники – 4,5 млн руб. [13].

Наиболее эффективными мероприятиями, обеспечившими выполнение заданий целевой программы энергосбережения в 2006 г., стали следующие:

- установка утилизации тепла конденсата и отработанного пара в цехе № 2 для целей отопления и ГВС в ОАО «Гродненский КСМ» позволила сберечь 605 т у.т., экономический эффект составил 79 млн рублей;
- результат внедрения установки использования тепла охлаждающей воды компрессоров К250 для отопления и ГВС промплощадки в ОАО «Доломит» – 376 т у.т. и 38 млн рублей;
- утилизация отходящих газов на участке выработки в/п № 7, 8 на ПРУП «Борисовский хрустальный завод» – 150 т у.т. и 34 млн рублей;
- замена котлов «Минск 1» на котлы КВР1, работающие на МВТ, в ОАО «Красносельскстройматериалы» – 258 т у.т. и 27 млн руб.;
- установка обогревателей для бытовых помещений с использованием отходов деревообработки в РУП «Трест № 14» – 119 т у.т. и 10 млн руб.;
- установка теплогенератора ТГА800 на древесных отходах при изготовлении ЖБИ в ОАО «Борисовжилстрой» – 219 т у.т. и 17 млн руб.



По итогам 1-го квартала 2007 г. на подведомственных предприятиях Минстройархитектуры суммарная достигнутая экономия (прирост потребления) составила 974 т у.т., в том числе за счет использования ВЭР (14 мероприятий) – 890; местных видов топлива (5 мероприятий) – 84 т у.т. Экономический эффект от внедрения мероприятий в целом составил 238 млн руб.: МВТ – 6, ВЭР – 232 млн руб. Объем финансирования мероприятий по увеличению применения местных ТЭР – 188 млн руб. (собственные средства предприятий) [13].

Рассмотрим перспективные мероприятия по дальнейшему использованию в отрасли ВЭР и МВТ. В настоящее время отходы деревообработки (опилки) используются в качестве выгорающей добавки при производстве поризованного кирпича в ОАО «Радощковичский керамический завод». Планируется ввести технологическую линию по выпуску поризованных керамических изделий мощностью 75 млн шт. условного кирпича в год в ОАО «Минский завод строительных материалов». При выводе данной линии на проектную мощность ожидаемый годовой экономический эффект составит около 3 тыс. т у.т., или 11,5 % энергопотребления завода.

Предполагается, что организация производства стеновых поризованных изделий на керамических заводах Минстройархитектуры снизит годовое потребление природного газа на 25 – 30 тыс. т у.т. за счет замещения его отходами лесозаготовки и деревообработки.

В ОАО «Гомельстекло» в 2009 г. планируется ввод линий по производству флоат-стекла мощностью 780 т стекломассы в сутки производства немецкой фирмы GLASINVIST. Здесь будет полностью реализована утилизация тепла отходящих газов на паросиловом комплексе, состоящем из двух парогенераторов и паровой турбины электрической мощностью 3,15 МВт, вырабатывающих в год 25,2 млн кВт/ч электроэнергии и 41,6 тыс. Гкал тепловой энергии. Объем использования ВЭР от тепла отходящих газов увеличится по сравнению с действующей на предприятии линией на 12 тыс. кВт/ч.

#### **4.2.6. Энергообеспечение предприятий на базе когенерационных установок**

Наиболее экономичным и апробированным решением, признанным всем технически развитым миром, позволяющим существенно снизить потери энергии, становится распределенное комбинированное производство тепловой энергии и электроэнергии непосредственно на предприятиях (когенерация).

Имеется три типа базовых когенерационных систем:

- с двигателем внутреннего сгорания (ДВС);
- с паротурбинной установкой (ПТУ);
- с газотурбинной установкой (ГТУ).

Первая система представляет собой ДВС, в котором механическая работа преобразуется в электроэнергию, а теплота выхлопных газов используется для генерации пара с давлением не выше 0,207 МПа. Данный тип когенерационной системы характеризуется высоким коэффициентом выработки электроэнергии.

Рассмотрим схему когенерационной системы на базе ПТУ (рис. 57, а). Она включает котел для генерирования пара высокого давления (303 МПа) с температурой 600°С и противодавленческую турбину, которая выполняет функции редуцирующего устройства для снижения давления пара. После турбины пар поступает на технологические нужды. При необходимости часть пара из котла, минуя турбину, проходит через редуктор и также направляется на технологические нужды. В связи с отсутствием конденсатора, а следовательно, и дополнительных потерь КПД данной системы может составлять 95 – 96 % .

В когенерационной системе на базе ГТУ (рис. 57, б) для производства пара в качестве источника теплоты используются отработанные газы. Данная система требует высококачественного топлива. Она может быть комбинированной и дополнительно включать паровую турбину. Тогда объем генерируемой электроэнергии возрастает, и коэффициент ее выработки может достигать значения, равного 1,5.

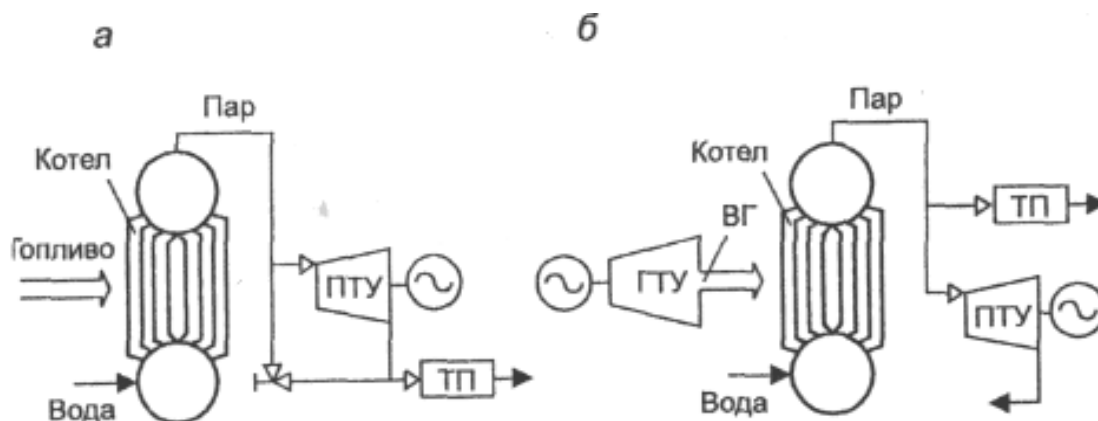


Рис. 57. Схемы систем когенерации с паротурбинной (а) и газотурбинной (б) установками: ТП – технологические потребители пара; ВГ – выхлопные газы

Таким образом, если потребность в технологическом паре уменьшается, может больше вырабатываться электрической энергии, которая при избытке передается внешним потребителям. Такая технология способствует повышению эффективности использования первичной энергии.

В Республике Беларусь необходимость применения когенераторов – мини-ТЭЦ для тепло- и энергоснабжения – очевидна. Когенераторные установки являются экономически привлекательными для промышленного потребителя. Затраты на проектирование, закупку, ввод в эксплуатацию и амортизацию когенераторов окупаются уже на 4-5-м году эксплуатации при расчетном сроке службы оборудования 25 – 30 лет (180 – 200 тыс. ч).

На предприятии ОАО «Керамика» г. Витебск внедрен энерготехнологический комплекс, состоящий из двух моделей газопоршневых установок суммарной электрической мощностью 2,8 МВт (рис. 58). Коэффициент полезного действия электрической газопоршневой установки модуля при полной мощности составляет 41,1 %, а тепловой – 51,4 %.

Сэкономлено топлива при существующей норме в 215 кг у.т./тыс. кВт ч и использовании уходящих газов на сушку керамических изделий – 768 т у.т. Себестоимость 1 кВт ч составила 75 руб. при цене покупаемой электроэнергии в энергосистеме 305 руб./кВт ч [19].

Газовая турбина мощностью 16 МВт успешно интегрирована в теплотехнологический процесс на ПРУП «Белорусский цементный завод». В результате рационализации энергообеспечения значительно снизилась себестоимость производства цемента.



Рис. 58. Газомоторная поршневая установка в ОАО «Керамика»

На ОАО «Химволокно» (Гродно) успешно работает когенерационный комплекс, созданный на базе производственной котельной с применением поршневых ДВС, общей мощностью 12 МВт, позволивший резко улучшить финансовое положение предприятия. Важно отметить, что только в результате указанных примеров реконструкции годовой импорт природного газа в страну сократился на величину, оцениваемую в 100 тыс. т у.т.

Планируется модернизация энергообеспечения теплотехнологических процессов ОАО «Доломит» путем создания когенерационного энерготехнологического комплекса, предназначенного для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии для частичного замещения прямого сжигания топлива в технологических топках для получения сушильного агента при сушке доломита в процессе его помола.

Установка газотурбинного комплекса мощностью 12 МВт позволит обеспечить выработку 96 млн кВт/ч энергии в год и сушку доломита в технологическом процессе производства доломитовой муки (2 млн т на пяти технологических линиях) [43].

#### **4.3. Сбережение тепловой и электрической энергии при производстве бетона и железобетона**

При производстве бетонных, железобетонных конструкций и изделий используется тепловая и электрическая энергия. На долю тепловой энергии приходится около 80 %, а электрической – 20 %. Все энергетические затраты на производство бетонных и железобетонных изделий разделяют на косвенные и прямые. Оценка энергоемкости изделий и конструкций производится суммированием прямых и косвенных энергозатрат.

**Косвенные затраты энергии** – это сумма расхода энергии на производство материалов, необходимых для изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций: цемента, арматурной стали, заполнителей, воды и др.

Энергоемкость воды составляет около 2,4 кг у.т. Затраты энергетических ресурсов на изготовление стальных прокатных профилей – 1876 – 2143 кг у.т. Наибольшие затраты энергии относятся к производству мелких профилей, а наименьшие – к производству профилей крупного сечения.

Данные по затратам энергии на производство материалов представлены в табл. 21 – 24 (по данным [19]).

Таблица 21

**Средние энергозатраты на изготовление проволоки и канатов, кг у.т./т**

Вид проволоки и изделий из нее	Класс	Для диаметров, мм					
		3	3,5	6	5 – 8	9	15
Обыкновенная	В-I	1960	1930	–	–	–	–
Высокопрочная гладкая	В-II	2130	–	–	2080	–	–
Высокопрочная периодического профиля	В-II	2150	–	–	2120	–	–
Канаты	К-7	–	–	2150	–	2120	2060

Таблица 22

**Средние энергозатраты на производство заполнителей**

Заполнитель	Энергозатраты	Заполнитель	Энергозатраты
Песок кварцевый	2,9	керамзит	110,4
Песчано-гравийная смесь	3,7	шунгазит	113,2
Щебень из гравия	4,1	аглопорит	109,5
Щебень из горных пород	4,8	перлит вспученный	44,2
То же, мытый и фракционированный	5,8	шлаковая пемза	2,1

Таблица 23

**Средние энергозатраты на изготовление цемента**

Вид цемента	Энергозатраты на производство цемента марок				
	300	400	500	550	600
Портландцемент:					
- без минеральных добавок;	297	298	300	303	305
- с минеральными добавками;	257	269	276	297	303
- быстротвердеющий	283	286	285	—	—
Шлакопортландцемент:					
- общего назначения;	172	195	217	—	—
- быстротвердеющий;	221	231	232	—	—
- цемент для растворов	150	—	—	—	—

Таблица 24

**Средние энергозатраты на производство арматурных сталей, кг у.т./т**

Вид арматурной стали	Класс	Затраты энергии для сталей диаметром, мм			
		8 – 10	12 – 14	16 – 18	20 – 28
Стержневая	S240, S400, S500	1990	1960	1910	1840
Стержневая, термически упроченная	S800, S1200	2080	2020	2005	1985

**Прямые затраты** – это энергия, затраченная на осуществление технологического процесса изготовления этих конструкций на всех переделах, включая транспортировку сырья на заводе. Структура прямых затрат энергии при производстве сборного железобетона приведена в табл. 25.

Таблица 25

**Структура энергозатрат в производстве сборного железобетона [29]**

Передел	Всего энергии, %	В том числе	
		электрической	тепловой
Приготовление бетонной смеси	0,38	0,35	0,03
Хранение материалов на складах: - цемента;	0,25	0,25	–
- заполнителей с их подогревом	2,85	0,15	2,7
Изготовление арматуры, включая склад стали	7,5	7,5	–
Формование изделий, подготовка форм, укладка арматуры, отделка поверхности изделий и приготовление смазки	8,6	7,4	1,2
Тепловлажностная обработка	55,2	–	55,2
Внутрицеховой и заводской транспорт	1,95	1,95	–
Ремонтные службы	2,2	1,8	0,4
Отопление и горячая вода	10,15	–	10,15
Освещение и вентиляция	2,45	2,45	–
Прочие работы	8,8	0,45	8,35
	Всего	22,0	78,0

**Установки для тепловой обработки бетона**

Выбор типа установок для тепловой обработки определяется рядом следующих факторов: принятым или существующим способом производства изделий (конвейерный, агрегатно-поточный, стендовый), характеристикой изделия (масса, размеры), объемом выпуска и видом бетона.

Основным типом теплового агрегата являются различного рода ямные пропарочные камеры, доля которых в республике составляет 75 % с годовым выпуском сборного железобетона около 75 % от общего объема. Коэффициент полезного действия использования энергии в них составляет 12 – 18 %.

К числу других видов оборудования относятся стендовые и кассетные установки, конвейерные линии и тоннельные камеры, КПД использования тепла в них – от 50 до 75 %.

Основные причины значительного перерасхода энергии – неудовлетворительное состояние пропарочных камер, тепловых сетей, запорной арматуры и средств контроля пара. Тепло теряется также из-за отсутствия изоляции горячих поверхностей, необоснованного увеличения длительности тепловой обработки и температуры пропаривания.

При тепловой обработке сборного железобетона на нагрев бетона, форм и оснастки расходуется 20 – 30 % технологической нормы требуемой тепловой энергии. Остальное тепло идет на непроизводительные потери.

Наибольшая доля непроизводительных тепловых потерь в ямных камерах падает на остывание бетонного корпуса при перерывах между циклами пропаривания, а в щелевых камерах – на теплопередачу ограждениями в процессе тепловой обработки.

В среднем на 1 м<sup>3</sup> сборного железобетона расходуется около 1500 МДж или около 50 кг условного топлива [24].

### **Снижение расхода цемента при производстве сборных железобетонных изделий**

Для сборных железобетонных конструкций около 70 % косвенных энергозатрат приходится на цемент. В этой связи для снижения энергоемкости сборных железобетонных конструкций важно использовать технологические приемы, снижающие расход цемента: применение пластификаторов, суперпластификаторов (СП), минеральных добавок из промышленных отходов (золы и золошлаковые смеси ТЭЦ), использование омагниченной воды, обеспечение однородности бетона за счет автоматизации приготовления бетонной смеси и строгого статистического контроля качества.

Внедрение эффективных химических и минеральных добавок, и в первую очередь получаемых из промышленных отходов, снижает расход цемента на 10 – 20 %.

Применение омагниченной воды снижает расход цемента на 5 – 10 %. Данный технологический прием внедрен на 20 заводах России, в том числе

крупнейших заводах Москвы (Ростокинский, Краснопресненский, Востряковский, Кунцевский заводы ЖБК). Магнитная обработка воды проводится в магнитотронах конструкции АО «Российская корона».

### **Оптимизация режимов твердения**

Существенное уменьшение потребления тепловой энергии может быть достигнуто за счет оптимизации режимов твердения. Например, при переходе на суточный оборот камер особенно эффективны термосные режимы тепловой обработки длительностью 16 – 18 ч с коротким периодом подачи пара и медленным остыванием изделий в теплоизолированных камерах. Экономия тепловой энергии при этом составляет 30 – 40 %.

Ученым Э.И. Батяновским (Белорусская государственная политехническая академия) для повышения эффективности тепловлажностной обработки железобетонных изделий предложена технология «Термос» на основе применения добавки-ускорителя твердения бетона сульфата натрия.

Данная технология позволяет значительно снизить температуру и сократить длительность режима активной тепловлажностной обработки (ТВО) железобетонных изделий, при котором последующее их остывание осуществляется обязательно в закрытом тепловом агрегате (ямной или щелевой камере, кассете, термоформе, под колпаком или пленкой и т.п.) для дальнейшего набора прочности.

В зависимости от группы изделий и вида теплового агрегата режимы ТВО могут быть следующими:

- длительность выдержки отформованных изделий до пуска пара – 1 – 3 ч;
- плавный подъем температуры до 60°C в течение 3 ч;
- прекращение подачи пара и выдержка изделий в закрытом тепловом агрегате (остывание) в течение 5 – 15 ч (по мере необходимости).

Таким образом, полный цикл ТВО составляет 8 – 18 ч, а длительность активной ТВО (подача пара) – только 3 ч. Традиционно на заводах ЖБИ выдержка до подачи пара длится 1,5 – 3 ч, подъем температуры до 85°C – 3 – 6 ч, изотермический прогрев при 85 °C – 6 – 14 ч, остывание при открытых тепловых агрегатах – 1 – 2 ч, т.е. полный цикл ТВО составляет 10 – 22 ч, а длительность активной ТВО – 9 – 20 ч. В итоге расход пара может быть снижен с 0,49 до 0,20 Гкал/м<sup>3</sup>.

При наличии достаточного парка форм, а также при изготовлении мелкоштучных изделий из жестких смесей методом вибропрессования возможен отказ от тепловой обработки.

Применение теплого бетона, получаемого за счет разогрева заполнителей, воды или электроразогрева бетонной смеси в сочетании с термосным выдерживанием в изолированных камерах, также снижает расход тепловой энергии на 50 – 60 %.



При производстве (особенно полигонном) неармированных бетонных изделий эффективно проявил себя электропрогрев бетона. Такой способ существенно повышает коэффициент полезного действия тепловой энергии, исключает необходимость использования пропарочных камер и на 20 – 40 % снижает энергопотребление на тепловую обработку.

**Химизация бетона.** Примерная классификация наиболее широко применяемых добавок и их сочетаний в многокомпонентных комплексных добавках показана на рис. 59 [37].

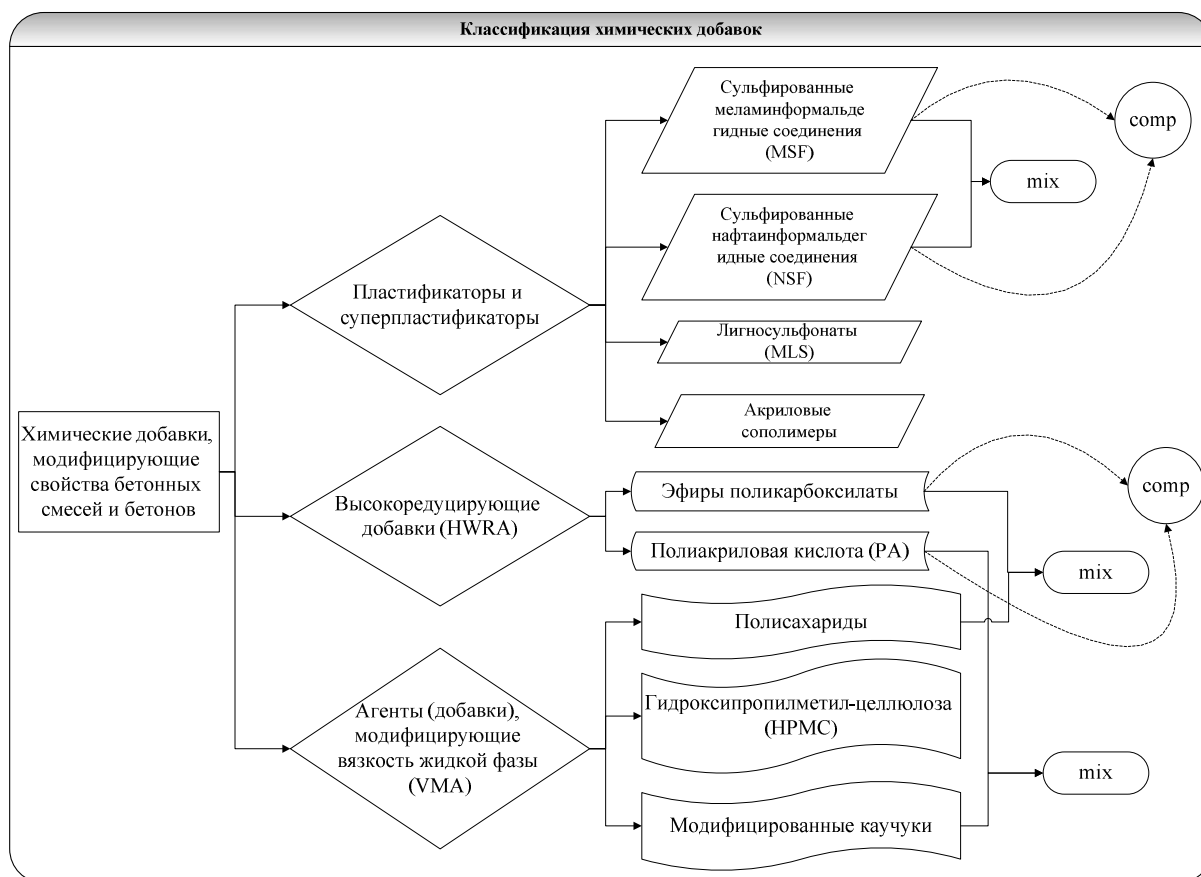


Рис. 59. Примерная классификация химических добавок, применяемых в технологии бетона: mix – могут смешиваться; comp – совместимы

Наибольшее применение при производстве сборного железобетона находят добавки суперпластификаторы. Популярность этих добавок обусловлена их комплексным воздействием на свойства бетонной смеси и бетона. При неизменных водоцементных отношениях и прочности бетона осадка конуса бетонной смеси увеличивается с 2-3 до 20 – 22 см; при неизменной кинетике твердения и прочности бетона сокращается расход цемента на 30 %; при одинаковом расходе цемента и подвижности бетонной

смеси на 20 – 25 % снижается расход воды затворения, самого теплоемкого компонента бетонной смеси.

Как указывается в [37], суперпластификаторы можно разделить на четыре группы:

1. Сульфированные меламинаформальдегидные соединения (MSF) – сульфированные продукты конденсации меламина с формальдегидом. Для модификации структуры меламинаформальдегидного олигомера с целью придания пластифицирующих свойств часто используют натриевую соль *n*-аминобензосульфокислоты;

2. Нафталиновые – сульфированные нафталинформальдегидные соединения (NSF); например, олигомеры и полимеры на основе формальдегида и натриевой соли  $\beta$ -нафталинсульфокислоты;

3. Модифицированные (рафинированные и практически не содержащие сахаров) лигносульфонаты (MLS) или соли лигносульфоновых кислот;

4. Гиперпластификаторы – производные полиоксикарбонных кислот (SP), поликарбоксилаты (PA) и др.

В строительной отрасли принята программа «Развития производства и применения добавок в бетоны и растворы с целью снижения расхода цемента, тепловой и электрической энергии». Программа ориентирована на новое поколение добавок: суперпластификаторы СМ-1 (для бетона), СМ-2 (для монолитного бетона), гиперпластификатор ГП-1, а также комплексные добавки производства СП ОО «Стахема-М» и тонкодисперсные наполнители [39].

Суперпластификаторы СМ-1 и СМ-2, созданные на основе известной добавки С-3, уменьшают водопотребность бетонной смеси до 25 %, дают возможность получения литых бетонных смесей и высокопрочных бетонов с повышенными плотностью и морозостойкостью, улучшенным качеством поверхности, сохранением подвижности бетонной смеси в течение длительного времени [40].

Гиперпластификатор нового поколения ГП-1 обеспечивает снижение водоцементного отношения при заданной удобоукладываемости бетонной смеси до 40 %. По эффективности он существенно выше названных добавок и предназначен для получения высокопрочных бетонов до класса С70/85, высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей, включающих вибрацию при их укладке, с высоким темпом набора прочности, в том числе и без тепловой обработки. Использование данных модификаторов способно снизить удельный расход цемента в составе бетона на 10 – 20 % и тепловой энергии на изготовление железобетонных конструкций в пределах 20 – 30 % [39], [40].

Учеными Полоцкого государственного университета ведется разработка добавки СПАС из отечественных компонентов (на основе отходов

ОАО «Полимир»). Добавка обладает двойным технологическим действием: пластифицирует и ускоряет набор прочности бетона.

### **Энергетическая эффективность суперпластификаторов**

Методика определения энергетической эффективности использования суперпластификаторов в технологии производства сборного железобетона, предложенная в работе [4], основана на суммировании энергетического эффекта от применения суперпластификаторов.

Суммарный энергетический эффект складывается из ряда технологических переделов, основными из которых являются сокращение температуры и сроков тепловлажностной обработки, уменьшение времени вибрационного воздействия при формировании, сокращение расхода цемента, уменьшение суммарной мощности вибраторов или совместное влияние всех выше перечисленных факторов.

Суммарный энергетический эффект от применения суперпластификатора для модификации бетонных смесей  $G_{\Sigma}$  можно представить соотношением, кг у.т. / м<sup>3</sup> бетона

$$G_{\Sigma} = G_{\Pi} + G_{B} + G_{Ц}, \quad (1)$$

где  $G_{\Pi}$  – энергетический эффект за счет сокращения сроков тепловлажностной обработки;

$G_{B}$  – энергетический эффект за счет увеличения удобоукладываемости бетонной смеси и снижения энергозатрат на формирование;

$G_{Ц}$  – энергетический эффект за счет сокращения расхода цемента.

Ожидаемый эффект по экономии условного топлива за счет сокращения сроков тепловлажностной обработки определяется по формуле:

$$G_{\Pi} = G_1 + G_2, \quad (2)$$

где  $G_1$  – количество сэкономленного топлива за счет сокращения сроков тепловлажностной обработки при использовании суперпластификатора;

$G_2$  – энергетические затраты на производство суперпластификатора, кг у.т.

$G_1$  без учета энергозатрат на производство СП рассчитывается по формуле

$$G_1 = (GKQ_1\Delta t_{\Pi}) / Vg\mu t_{\Pi}, \quad (3)$$

где  $G$  – количество исходного сырья для получения СП, кг;

$Q_1$  – удельный расход тепла на тепловую обработку бетона, кДж/м<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент, учитывающий выход СП в пересчете на исходное сырье;

$t_n$  – продолжительность термовлажностной обработки бетона до применения СП, ч;

$\Delta t_{\Pi}$  – сокращение периода термовлажностной обработки бетонной смеси при применении СП, ч;

$g$  – теплота сгорания условного топлива, кДж/кг;

$\mu$  – удельный расход СП, кг/м<sup>3</sup> бетона;

$V$  – объем бетона, м<sup>3</sup>.

Энергетические затраты (выраженные в килограммах условного топлива), связанные непосредственно с производством СП, определяются соотношением

$$G_2 = (GQ_2)/(Vg), \quad (4)$$

где  $Q_2$  – удельный расход тепла затраченный на производство СП, кДж/кг.

Решая уравнение (2) совместно с выражениями (3) и (4), получим

$$G_{\Pi} = G_1 - G_2 = (GKQ_1\Delta t_{\Pi})/(Vg\mu t_{\Pi}) - (GQ_2)/(Vg) \quad (5)$$

или

$$G_{\Pi} = GQ_2/(Vg) \left[ \frac{KQ_1\Delta t_{\Pi}}{Q_2\mu t_{\Pi}} - 1 \right]. \quad (6)$$

Ожидаемый эффект от увеличения удобоукладываемости бетонной смеси может быть выражен путем сокращения времени вибрации или уменьшением мощности вибраторов. В первом случае величина определится по формуле

$$G_{B1} = (861 \cdot 4,18 \cdot w \cdot \Delta t_B)/(V_{\phi}g), \quad (7)$$

где 861 – пересчетный коэффициент (1 кВт = 861·4,2 кДж/ч);

4,18 – пересчетный коэффициент (1 кВт = 4,18 кДж);

$w$  – потребляемая мощность вибратора, кВт;

$\Delta t_B$  – время сокращения вибрации, ч;

$V_{\phi}$  – объем формируемой бетонной смеси в единице изделия, м<sup>3</sup>.

Энергетический эффект за счет уменьшения мощности вибрационного воздействия  $G_{B2}$  может быть представлен соотношением

$$G_{B2} = \frac{861 \cdot 4,18 \cdot w_i t_B}{V_{\phi}} (n - n_{cn}), \quad (8)$$

где  $w_i$  – потребляемая мощность одного вибратора, кВт;

$t_B$  – время вибрационного воздействия, ч;

$n$  – количество вибраторов до применения СП;  
 $n_{cn}$  – количество вибраторов после применения СП.  
 Для пневмовибраторов уравнение (8) примет вид

$$G_{B3} = \frac{4,18G_C RT}{4,27\eta V_\phi g} \ln \frac{P_2}{P_1} (n - n_{cn}), \quad (9)$$

где  $G_C$  – расход сжатого воздуха, кг;  
 $R$  – газовая постоянная, кг·м / кг · К;  
 $T$  – температура сжатого воздуха, К;  
 427 – пересчетный коэффициент (4,2 кДж = 427 кг/м);  
 $\eta$  – изотермический КПД;  
 $P_1, P_2$  – давление воздуха до и после сжатия, Н/м<sup>2</sup>.

Ожидаемый энергетический эффект за счет снижения расхода цемента может быть представлен соотношением:

$$G_{Ц} = [E_{Ц} (Ц - Ц_{СП})] / g, \quad (10)$$

где  $E_{Ц}$  – удельные энергозатраты на изготовление одного кг цемента, кДж/кг;

$Ц$  – расход цемента до применения СП, кг/м<sup>3</sup>;

$Ц_{СП}$  – расход цемента после применения СП, кг/м<sup>3</sup>.

Тогда с учетом (6), (7), (9) и (10) уравнение (11) запишется в виде

$$G_{\Sigma} = \frac{GQ_2}{V_3} \left[ \frac{K\Delta t_n Q_1}{\mu t_n Q_2} - 1 \right] + \frac{861 \cdot 4,18 w \Delta t_B}{V_\phi \cdot g} + \frac{4,18 G_B RT}{427 \eta V_\phi \cdot g} \ln \frac{P_2}{P_1} (n - n_{СП}) + \frac{E_{Ц} (Ц - Ц_{СП})}{g}. \quad (11)$$

Выражение (11) представляет собой наиболее общий вид функциональной связи между рассматриваемыми параметрами и состоит из четырех слагаемых, каждое из которых характеризует определенное влияние на энергетический эффект использования суперпластификатора.

Первое слагаемое дает количественную оценку сэкономленной энергии за счет сокращения сроков термовлажностной обработки бетона по сравнению с удельными тепловыми затратами тепла на изготовление суперпластификатора.

При  $G, Q_2, V, g = \text{const}$  определяющими параметрами слагаемого являются соотношения  $Q_1 / Q_2, \Delta t_n / t_n$  и  $K / \mu$ , первое из которых характеризует относительную величину удельных тепловых затрат на изготовление 1 кг СП по сравнению с удельными тепловыми затратами на термовлажно-

стную обработку, второе – степень ее сокращения за счет применения СП, а третье – особенности производства СП и бетона. Таким образом, при  $Q_1 / Q_2 > 1$ ,  $\Delta t_n / t_n = 1$  и  $K/\mu > 1$  целесообразность использования суперпластификатора очевидна. В этом случае каждый килограмм исходного сырья на изготовление СП дает экономию  $G_n$  кг у.т. или  $G_n g$  кДж тепловой энергии. При  $Q_1 / Q_2 \leq 1$  и  $\Delta t_n / t_n < 1$  энергетическая эффективность использования суперпластификатора несколько снижается и положительный эффект в этом случае зависит от абсолютных значений  $K$  и  $\mu$ . Максимальный энергетический эффект будет достигнут в том случае, когда выход суперпластификатора  $K$  в пересчете на исходное сырье будет по абсолютной величине больше удельного расхода СП на  $1 \text{ м}^3 \mu$ . При  $K \leq \mu$  выражение  $G_n g$  будет ближе к нулю и энергетический эффект использования СП за счет первого слагаемого становится минимальным. Таким образом, на каждый килограмм исходного сырья, пошедшего на изготовление СП, при его использовании в технологии бетона дополнительно затрачивается ( $G_n$ ) кг у.т. или целесообразно использовать ( $- G_n g$ ) кДж тепловой энергии.

Второе слагаемое характеризует количество сэкономленного условного топлива за счет сокращения времени вибрации бетонной смеси в процессе формирования изделия. Нетрудно видеть, что энергетический эффект использования СП при формировании зависит от мощности вибратора  $w$  и времени сокращения вибрационного воздействия  $\Delta t_B$ .

Чем меньше  $w$  и  $\Delta t_B$ , тем больше энергетическая целесообразность использования суперпластификатора. При  $\Delta t_B = 0$  энергетический эффект также равняется нулю, так как  $G_B = 0$ .

Третье слагаемое определяет энергетический эффект СП за счет уменьшения числа вибраторов. Положительный эффект в данном случае определяется числом вибраторов, не функционирующих в процессе формирования изделия ( $n - n_{cn}$ ), удельным расходом сжатого воздуха  $G_C$ , потребляемого одним вибратором, и степенью сжатия воздуха в компрессоре  $P_2 / P_1$  в случае использования навесных вибраторов. Чем меньше количество действующих вибраторов и чем больше удельный расход сжатого воздуха и степень его сжатия, тем выше экономия условного топлива. И, наоборот, при  $n = n_{cn}$  или  $P_2 = P_1$  третье слагаемое превращается в нуль, снижая положительный эффект использования суперпластификатора.

Четвертое слагаемое показывает энергетический эффект за счет сокращения расхода цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона. Положительный эффект в этом случае определяется непосредственно количеством сокращенного расхода цемента. Чем больше количество сокращенного расхода цемента, тем больше энергетический эффект, и наоборот.

## **Мероприятия по экономии ТЭР при производстве бетонных и железобетонных изделий и конструкций**

Мероприятия, связанные с экономией ТЭР при производстве бетонных и железобетонных изделий и конструкций, а также при производстве товарного бетона и раствора, сводятся к следующим направлениям:

- совершенствование методов, режимов и оборудования для термовлажностной обработки изделий и конструкций для снижения затрат тепловой энергии на 1 м<sup>3</sup> продукции;
- увеличение коэффициента полезного использования тепловой энергии за счет повышения термического сопротивления элементов ограждающих конструкций камер;
- автоматизация процесса термовлажностной обработки пропаривания бетонов, которая обеспечивает необходимые прочностные показатели бетонных изделий и снижает расход тепловой энергии на 15 – 20 % по сравнению с установками, не оснащенными автоматикой;
- совершенствование методов подвода тепла и выбор экономичного теплоносителя;
- использование модифицирующих добавок-пластификаторов и ускорителей твердения;
- сокращение расходов исходных материалов (цемента, арматуры, заполнителей, воды и др.) на каждое изделие или конструкцию без ухудшения их физико-механических и эксплуатационных характеристик;
- максимальное использование при тепловой обработке изделий ВЭР.

Производственный опыт показывает, что применение новых технологий, наведение технологической дисциплины, применение необходимых методов контроля и учета на заводах ЖБИ и КЖД позволяют сократить расход цемента на 15 % и расход энергоресурсов – на 20 – 30 % [24].

## **4.4. Проектирование зданий и сооружений**

### **4.4.1. Экспертиза энергетической эффективности проектных решений**

**Государственная экспертиза энергетической эффективности** – оценка технической и технологической эффективности запроектированного объекта, включающей сравнительную оценку снижения затрат энергии на единицу продукции за счет использования современных энерго- и ресурсосберегающих технологий, позволяющих при существующем потреб-

лении энергии увеличить производительность или при существующей производительности снизить потребление энергии.

Основные задачи государственной экспертизы энергетической эффективности – оценка соответствия проектных решений требованиям нормативных документов по стандартизации в части показателей энергоэффективности, а также определение достаточности и обоснованности предусматриваемых мер по энергосбережению [20].

На стадии проектных решений подлежат оценке по энергоэффективности следующие вопросы, по разделам проекта:

- генплан (удаленность от потребителя, протяженность коммуникаций, способы прокладки с учетом природных и искусственных преград, плотность застройки и т.д.);

- архитектурно-планировочные решения (возможность блокировки зданий, этажности, площадь остекленности, архитектура фасада, долговечность и тепло- и энергосберегающие характеристики примененных материалов, изделий, элементов и частей здания, сооружения, унификация объектно-планировочных решений, использование погребов и заглубленных мест, использование дневного света, протяженность наружных стен, соблюдение типовых потребительских качеств по площади комнат, квартир и т.д.);

- конструктивные решения (теплозащитные характеристики конструкций наружных стен, покрытий, узлов, частей, элементов здания, сооружения; принятые теплозащитные конструктивные решения по возможным "мостикам холода" и местам наибольших теплопотерь и т.д.);

- санитарно-техническая часть (ВиК) (рациональность прокладки трасс, необходимость или отсутствие энергопитаемых средств доставки воды, удаление хозфекалий и т.д., количество затрачиваемой электроэнергии, ТЭР для функционирования инженерных систем и оборудования и т.д.);

- отопление, горячее водоснабжение (рациональность трассировки коммуникации, количество тепла, энергии, затрачиваемых на  $1 \text{ м}^2$  (площади),  $1 \text{ м}^3$  (объема здания, сооружения), на единицу производимой продукции, на  $1 \text{ м}^3$  подогреваемой воды; обоснованность принятого источника и способа теплоснабжения и подогрева воды и т.д.);

- электротехнические решения (обоснованность принятого источника и способов энергоснабжения и освещения, энергоэффективность и экономичность применяемых материалов, изделий и осветительной арматуры; расход электроэнергии и т.д.);

- ПОС (источники тепло- и энергоснабжения СМР, рекомендуемое количество используемого тепла и электроэнергии, энергосберегающие способы ведения работ и т.д.);



– сметная часть (обоснованность стоимости включенных затрат на тепло-, энергообеспечение СМР на возведении объекта, на эксплуатацию объекта, на 1 м<sup>2</sup> (площади), на 1 м<sup>3</sup> (объема), на единицу производимой продукции и т.д.).

При проведении экспертизы проектов оценивается реализация научно-технических решений и внедрение передового опыта по экономии материальных, топливно-энергетических, сырьевых и природных ресурсов при строительстве и эксплуатации объектов, в том числе:

– наличие, уровень и эффективность прогрессивных проектных ресурсосберегающих решений и мероприятий;

– возможность использования вторичных ресурсов;

– соответствие принятых архитектурных, объемно-планировочных, технологических и инженерно-конструктивных решений научно-техническим достижениям и передовому отечественному и зарубежному опыту по экономному расходованию материальных и топливно-энергетических ресурсов;

– обоснованность принятых объемно-планировочных решений и габаритов зданий и сооружений;

– целесообразность и эффективность блокировки здания, использование площадей и объемов;

– обоснованность расхода основных строительных материалов (металла, цемента, древесины) конструкций и изделий и наличие сопоставимых данных с прогрессивными показателями, аналогами и нормативами;

– прогрессивность принятых методов организации строительства, эффективность мероприятий по снижению трудоемкости возведения зданий и сооружений, сокращению сроков строительства;

– правильность и обоснованность решений по инженерному обеспечению предприятий, зданий, сооружений и других объектов строительства;

– рациональность трассировки и прокладки инженерных сетей, компоновки зданий, технологического оборудования, а также обоснованность применения металлических труб взамен неметаллических и т.д.;

– наличие (или отсутствие) решений по созданию безотходного (малоотходного) производства на базе полного и комплексного использования сырья и отходов;

– апробированность предложенных ресурсосберегающих решений и мероприятий для условий строительства и эксплуатации объекта (предприятия);

– оценка рациональности и обоснованности проектных решений и сметных расчетов по предотвращению перерасхода материальных и топливно-энергетических, и других ресурсов;

– соблюдение нормативных удельных расходов тепловой энергии;

– сопоставительная оценка проектных показателей расхода и нормативных удельных расходов тепловой энергии [20].

Государственную экспертизу энергетической эффективности осуществляет Департамент по энергоэффективности Госстандарта.

#### **4.4.2. Энергосберегающие мероприятия при разработке проектных решений**

Основными мероприятиями для снижения энергоемкости при проектировании зданий и сооружений являются следующие:

***при разработке генеральных планов:***

– развитие городов с рациональным использованием городских территорий за счет уплотнения застройки, дополнительное жилищное строительство на сложившихся территориях.

– организация замкнутых дворов и внутриквартальных территорий для ликвидации сквозных продуваемых ветром пространств с сохранением принципов организации воздухообмена.

– вынос технологического оборудования на открытые площадки. При этом снижение энергозатрат происходит как в процессе строительства (снижение материалоемкости), так и в процессе эксплуатации (сокращение затрат на отопление, вентиляцию продольного фасада здания).

– осуществление при проектировании максимального блокирования зданий.

***при разработке архитектурно-конструктивных решений:***

– минимизация отношения площади ограждающих конструкций к общей площади зданий, отношение площади оконных проемов к площади наружных стен не должно превышать 18 – 20 %;

– применение эффективных утеплителей плотностью не более 200 кг/м<sup>3</sup> с минимумом теплопроводных включений и стыковых соединений в сочетании с надежной гидроизоляцией;

– применение сертифицированных оконных изделий полной заводской готовности с теплосберегающим стеклом, а также со стеклопакетами, заполненными аргоном, криптоном или другим инертным газом;

– применение энергоэффективных ограждающих конструкций. Предпочтение необходимо отдавать однослойным стенам, обеспечивающим необходимое термическое сопротивление, взамен более трудоемких и энергоемких многослойных;

– ограничение "мокрого" утепления наружных стен при проектировании новых зданий и сооружений, ограничение применения теплоизоляции с внутренней стороны;

- строительство малоэтажных жилых домов из экологически чистых материалов, включая применение соломы;
- максимальное приближение производства отдельных материалов и конструкций к строительной площадке (монолитный каркас, вспененные пластмассы и др.);
- применение новых каркасных систем (сборно-монолитных и монолитных) при проектировании жилых и общественных зданий. Использование принципа разделения функций несущих и ограждающих конструкций, что позволяет при снижении материалоемкости сохранить все их функции;
- устройство вентиляции с рекуперацией тепла уходящего из помещения воздуха;
- использование нетрадиционных источников энергии, таких как энергия солнца, ветра и др;
- управление теплофизическими характеристиками ограждающих конструкций (вентилируемые воздушные прослойки и др.);
- строительство ширококорпусных домов.

***при проектировании инженерных систем:***

- использование локальных и групповых котельных установок, включая чердачные, децентрализация теплоснабжения при уплотнении застройки;
- поквартирное отопление с применением газовых и электрических водонагревателей;
- поквартирный учет расхода горячей воды и установка приборов регулирования систем отопления;
- применение горизонтальных систем отопления с поквартирным распределением теплоносителя (кольцевая и лучевая разводки);
- применение автоматизированных тепловых пунктов;
- внедрение в практику строительства трубопроводных систем из полимерных материалов, отличающихся долгим сроком службы (более 50 лет) для систем горячего, холодного водоснабжения и канализации;
- применение энергоэффективных систем освещения;
- оснащение систем отопления зданий системой автоматического регулирования теплотехнических параметров;
- регулирование пофасадных систем, для чего предусматривается установка отдельных водонагревателей, насосов или элеваторов с изменяющимся сочетанием сопла;
- осуществление разработки (как части проекта) энергетических паспортов жилых и общественных зданий. Это документы, которые отражают уровень теплозащиты и эксплуатационной энергоемкости зданий в целом [31].

### 4.4.3. Энергоэффективные конструктивные системы

Современные конструктивные системы зданий должны отвечать следующим требованиям:

1) предоставлять практически неограниченные возможности объемно-планировочного построения и формообразования здания без дополнительных материальных затрат, т.е. быть открытой и универсальной;

2) обеспечивать минимальное материало- и энергопотребление на возведение здания и на этой основе создавать минимальную стоимость его строительства, максимально и полно использовать имеющуюся местную сырьевую и производственную базу;

3) обеспечивать высокий темп возведения зданий, всепогодность строительства при минимальных трудовых затратах, в том числе и в зимних условиях;

4) простыми средствами обеспечивать требуемую тепловую защиту и максимальную энергоэффективность здания при эксплуатации, возможность применения современных регулируемых инженерных систем отопления и вентиляции.

Отмечается в [18], что изложенные выше принципы и требования реализованы в разных вариантах системы жилых и общественных зданий со сборно-монолитными каркасами серии Б1.020.1-7 (АРКОС), разработанных в БелНИИС. Здания этой системы включают сборно-монолитный каркас с плоскими дисками перекрытий и применением многопустотных плит (рис. 60).

Многопустотные плиты в каждом перекрытии объединены монолитными железобетонными ригелями, скрытыми в плоскости перекрытий и оперты на сборные или монолитные колонны. Шаг колонн может быть любого требуемого размера до 7,2 – 7,6 м как вдоль, так и поперек здания, а сетка колонн может иметь нерегулярную структуру в плане с пролетами переменной величины по любым осям здания.

Особенностью каркаса является учет действия в плоскостях дисков перекрытий распорных усилий по их обеим осям, что обеспечивает по сравнению со всеми известными конструкциями перекрытий заметное сокращение расхода металла и бетона. Сборные колонны могут быть как поэтажной разрезки, так и многоэтажными с объединением по высоте посредством бессварных стыков ВИНСТ на болтовых соединениях, разработанных в рамках конструктивной системы. Монтаж колонн не требует применения кондукторов [18].

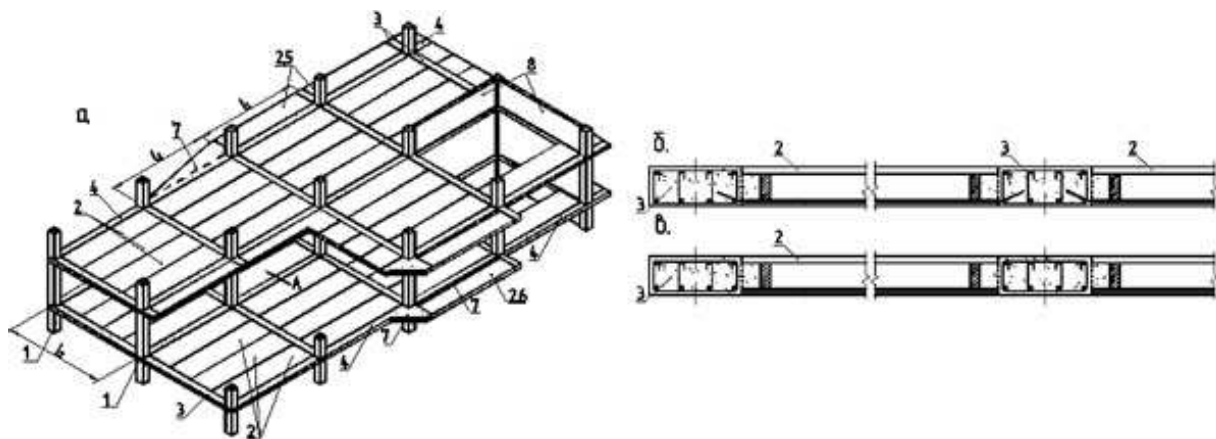


Рис. 60. Конструкция сборно-монокристаллического каркаса системы зданий АРКОС-1:  
 а – общий вид каркаса; б – разрез перекрытия с типовыми сборными многопустотными плитами; в – то же при использовании в перекрытии многопустотных плит безопалубочного формования; 1 – сборные или монокристаллические железобетонные колонны; 2 – многопустотные плиты (типовые или безопалубочного формования); 3 – несущие монокристаллические ригели; 4 – связевые монокристаллические ригели; 5, 6 – консоли для устройства эркеров и балконов; 7 – монокристаллические участки перекрытий; 8 – вертикальные диафрагмы жесткости (сборные, сборно-монокристаллические или монокристаллические)

Возможности свободной планировки показаны на рис. 61, где на примере одной и той же секции представлена планировка для малогабаритных квартир (рис. 61, а) и чередующаяся по этажам планировка квартир увеличенного метража (рис. 61, б), размещенных вдоль одних и тех же вертикальных коммуникаций здания.

Технические решения каркаса, его элементов и узлов защищены 11 патентами Российской Федерации и 6 патентами Республики Беларусь.

Конструктивная система эффективна как по расходу материалов, так и по темпам строительства. Разработанная технология возведения является всепогодной и позволяет обеспечить темп строительства до 4,0 – 4,5 и более этажей в месяц. Разработанные в БелНИИС композиции бетонных смесей (рук. проф. Н.П. Блещик) позволяют применять их на стройплощадке без прогрева при температуре воздуха до  $-10^{\circ}\text{C}$  включительно, а при различной интенсивности прогрева – и при более низких температурах. Темп набора прочности бетона достаточно высокий, что дает возможность при положительных температурах воздуха к концу вторых суток после начала бетонирования начать демонтаж поддерживающих устройств под перекрытием и переставлять их на готовое перекрытие. При отрицательных температурах демонтаж поддерживающих устройств можно выполнять на

3 – 5-е сутки. Технология бетонирования позволяет получить любую требуемую прочность бетона в монолитных и сборных элементах.

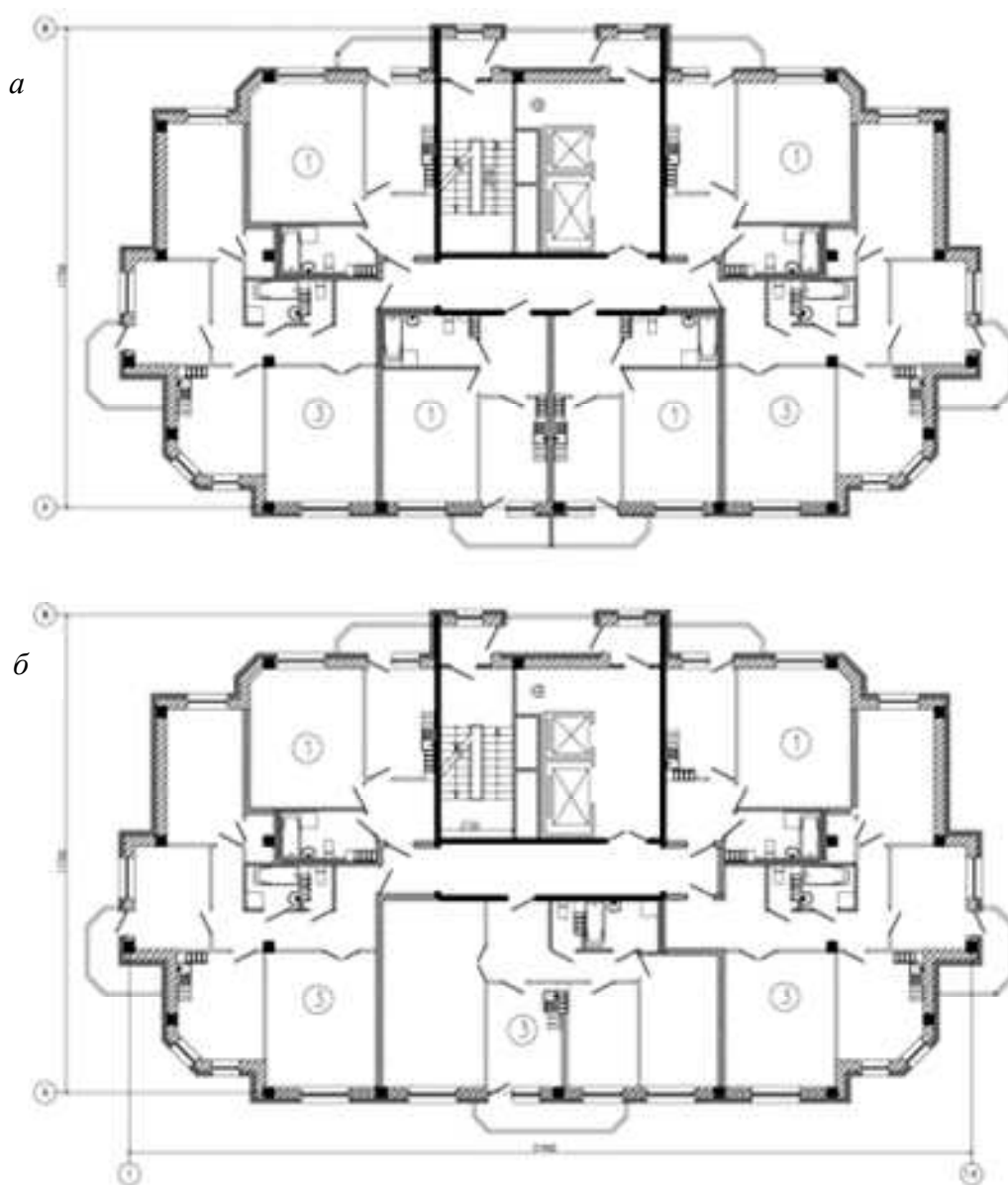


Рис. 61. Пример реализации различных планировочных, чередующихся по высоте решений в одной и той же секции каркасного жилого дома серии Б1.020.1-7: *а* – вариант при малогабаритных социальных квартирах; *б* – вариант при коммерческих планировках на заказ

Разработан сборно-монолитный каркас АРКОС с применением в дисках перекрытий плоских сборных плит кассетного производства ДСК. Этот каркас (рис. 62) включает сборные колонны, сборные железобетонные плиты кассетного производства, монолитные железобетонные ригели обоих направлений.

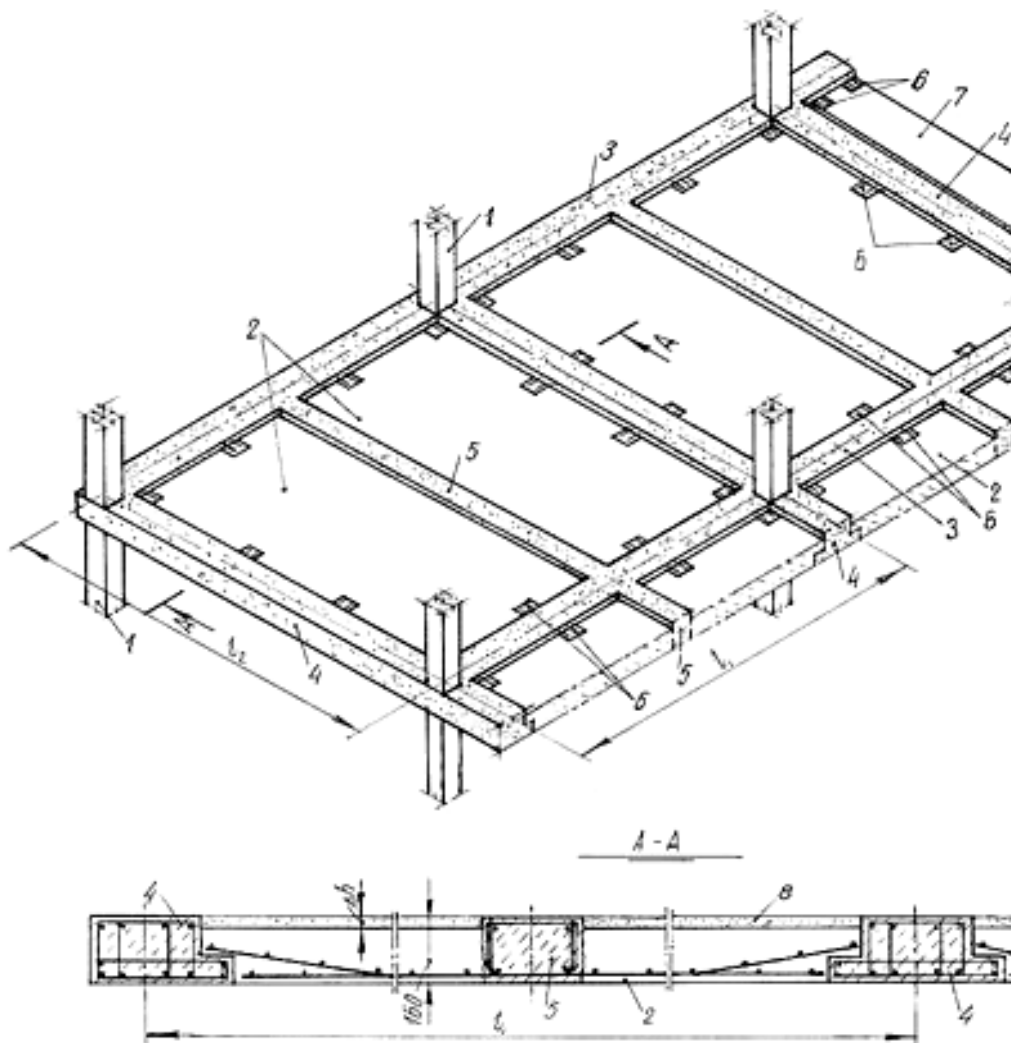


Рис. 62. Конструкция сборно-монолитного каркаса, выполняемого с применением плоских железобетонных плит кассетного производства ДСК: 1 – колонны; 2 – сборные плоские плиты; 3, 4 – монолитные ригели; 5 – монолитные стыки сборных плит; 6 – закладные детали; 7 – плита балконной консоли; 8 – монолитная стяжка пола

Сборные плиты, попарно размещенные в каждой ячейке перекрытия, объединены в середине пролета посредством выпусков рабочей арматуры по шву омоноличивания и оперты по контуру полками на нижние полки монолитных железобетонных ригелей. Эти ригели в свою очередь жестко объединены с колоннами. В зданиях выше 9 этажей сборные плиты могут дополнительно прикрепляться к ригелям с помощью закладных деталей. При размерах сетки колонн свыше 6,0 м ригели и швы омоноличивания могут быть увеличены по высоте с размещением их верха в стяжке пола. При необходимости ширина ригелей увеличивается с образованием полки, размещаемой в стяжке пола.

Как и в случае каркаса со сборными многопустотными плитами, балконные консоли образуются выносом ригелей и/или шва омоноличивания с соответствующим армированием за наружные ряды колонн. Балконная плита оперта полками по двум сторонам на консоли ригелей и отделена по всей длине от диска перекрытия слоем теплоизоляции.

При средней этажности (до 10 – 12 этажей) весьма эффективными являются здания с неразрезными дисками перекрытий, опертыми с большим шагом (до 9 м) на поперечные несущие стены, выполняемые из укрупненных бетонных блоков (АРКОС-1а). Как и в каркасных системах, наружные стены и перегородки в этом случае – поэтажно опертые.

Производственный опыт строительства зданий со сборномонолитным каркасом серии Б1.020.1-7 (АРКОС) показал, что стоимость строительства несущих конструкций здания снижается на 30 % с учетом возврата затрат от увеличения площади. Вес несущих конструкций уменьшается на 40 %. Более экономично расходуется арматура, ее количество снижается в 1 – 5 раз. При отсутствии сварных соединений сборка каркаса упрощается и не требует высокой квалификации кадров. Наружные ограждающие конструкции, поэтажно опертые на перекрытия, можно выполнять из малопрочных газо- или пенобетонных блоков низкой плотности и высокой теплоэффективности. Межквартирные и межкомнатные перегородки, ограждения санузлов можно делать каркасно-обшивными или из тех же материалов, что и наружные стены. За счет уменьшения массы здания снижаются затраты на устройство фундаментов. А устройство мансардного этажа вместо чердака позволяет дополнительно снизить стоимость квадратного метра.

#### **4.5. Производство строительного-монтажных работ**

При выполнении строительного-монтажных работ потребляется в среднем около 8 % суммарных отраслевых ТЭР, поэтому энергосбережение при производстве строительного-монтажных работ является важным направлением в деятельности по экономии энергоресурсов.

Энергоресурсы используются на добычу и производство ряда строительных материалов (песок, гравий, щебень и др.), транспортировку строительных материалов, изделий и конструкций от мест их изготовления на объекты строительства, выполнение непосредственно строительного-монтажных работ. Величина энергозатрат при производстве строительного-монтажных работ представлена в табл. 26 [30].



**Энергозатраты при производстве строительного-монтажных работ**

Группа энергозатрат	Величина, %
Технологические нужды	45
Транспортные нужды	30
Отопление	11
Освещение	7
Бытовые нужды	2
Прочие затраты	5

Снижение энергозатрат при производстве строительного-монтажных работ является комплексной задачей, которая должна решаться на всех этапах, начиная с проектирования здания до выполнения работ на строительной площадке.

На этапе проектирования зданий и сооружений снижение энергозатрат может быть достигнуто путем:

- выбора планировочных решений, допускающих производство строительного-монтажных работ при отрицательных температурах с минимальными расходами ТЭР;
- использования материалов, конструкций и деталей с минимальными расходами энергии на их производство;
- применения в проектах систем отопления с возможностью их использования при производстве строительного-монтажных работ в зимнее время;
- отражения вопросов энергосбережения при разработке проекта организации строительства (ПОС);
- сокращения объемов сварочных работ на строительной площадке.

При разработке графиков выполнения отдельных видов деятельности работы, требующие повышенного расхода ТЭР в условиях отрицательных температур, должны планироваться на теплое время года.

Можно достичь экономии уже в процессе организационно-технологической подготовки производства. В проекте производства работ (ППР) должны закладываться мероприятия с учетом энергосбережения, в том числе:

- выбор временных зданий и сооружений с высокими теплотехническими характеристиками;
- планирование минимального объема работ при отрицательных температурах;

- выбор типов машин и механизмов с минимальными расходами энергоресурсов;
- выбор технологий производства работ на альтернативной основе с учетом критерия энергоемкости;
- экономное освещение.

Сокращение затрат при производстве работ можно достигать при транспортировании материалов и конструкций на стройплощадку, при отоплении бытовых помещений, при освещении строительной площадки, при использовании оборудования и подъемных механизмов.

Так, при выборе вида транспорта для перевозки строительных материалов, изделий и конструкций следует исходить из того, что средний расход энергии на 1 тыс. т/км составляет:

- при перевозке автотранспортом:
  - на бензине – 135,9 кг у.т.;
  - на дизельном топливе – 54,2 кг у.т.;
- при перевозке железнодорожным транспортом:
  - на дизельном топливе – 6,82 кг у.т.;
  - на электротяге – 15,5 кВт/ч.

Одним из направлений, обеспечивающих экономию ТЭР, являются мероприятия по внедрению новых технологий при производстве строительно-монтажных работ. К ним относятся создание новых материалов и конструкций, применение эффективных химических добавок, новых технологий производства строительно-монтажных работ, новых архитектурно-конструктивных систем зданий и сооружений, разработка и создание машин и механизмов с малой энергоемкостью. Ориентировочное снижение энергозатрат по каждому из пяти перечисленных выше мероприятий дано в табл. 27 [30].

Энергоемкость строительно-монтажных работ возрастает при производстве работ в зимних условиях. Наиболее затратными являются процессы производства бетонных работ по возведению монолитных железобетонных конструкций. Все имеющиеся методы зимнего бетонирования можно разделить на две группы. К первой относятся так называемые методы безобогревного бетонирования: по способу термоса; в тепляках; с применением противоморозных добавок и их совместное применение. Ко второй группе относятся способы электротермообработки бетона. В условиях роста цен на электроэнергию и другие виды топлива на выбор способа зимнего бетонирования помимо технологических факторов оказывает влияние наличие дешевых источников тепла и энергоэффективность метода.

**Мероприятия по снижению энергозатрат**

Наименование мероприятия	% от общей стоимости
1. Проектирование зданий и сооружений	8
2. Определение продолжительности строительства	11
3. Процесс организационно-технологической подготовки производства	28
4. Производство работ	17
5. Внедрение новых технологий	36
Итого:	100

Показатели затрат по возведению монолитных конструкций с использованием различных методов термообработки представлены в табл. 28.

При сравнении методов по таким основным показателям производства работ, как энергозатраты, трудозатраты, продолжительность работ с учетом времени прогрева существенным преимуществом отличается метод прогрева бетона с использованием электрогреющих проводов.

Дорогим по показателям затрат труда и электроэнергии является метод электродного прогрева. Показатель продолжительности работ для обычного термосного выдерживания увеличивается в 2 – 4 раза вследствие замедления роста прочности и даже при использовании комплексных ускоряющих и противоморозных добавок.

При прогреве бетона с такими добавками при температуре ниже минус 10°C ускоряется его готовность и снижаются затраты по мощности и расходу электроэнергии в 1,5 – 2 раза. В том случае, когда бетон нагревается от теплового «толчка» с использованием греющих проводов, требуемая прочность бетона достигается в 1,3 – 1,6 раза быстрее и при меньших затратах электроэнергии.

Таким образом, в целях ускорения производства работ и сокращения их продолжительности при возведении монолитных конструкций зимой со снижением энергетических затрат на прогрев следует применять бетон с использованием ускоряющих добавок, температурного «толчка» по краткому и невысокому (40°C) прогреву в начальной стадии с тем, чтобы бетон с добавками надежно твердел и ускоренно набирал требуемую прочность. При применении бетонов без добавок в среде с температурой ниже минус 10 – 15°C целесообразно использовать прогрев греющими электропроводами, что помимо ускоренного достижения прочности, обеспечивает снижение затрат ресурсов [14].

**Показатели затрат по возведению монолитных конструкций  
с использованием различных методов термообработки [14]**

№ п/п	Температура укладки-ваемой смеси, $t_{см}$ , °С	Прочность бетона, % от $f_c$ , $G_{cube}$	Модуль поверхности конструкции, $M$ , м <sup>-1</sup>	Температура наружного воздуха, $t_{нв}$ , °С	Энергозатраты, Э, кВт·ч/м <sup>3</sup>	Трудозатраты, $T$ , чел·ч/м <sup>3</sup>	Продолжительность работ по термообработке, $\tau$ , сут.
1	2	3	4	5	6	7	8
Метод термоса							
1	20	50	2	-5	23,9	12,4	6,8
2	30	30	2	-10	25,1	11,7	5,6
3	30	30	2	-15	26,1	15,0	7,0
4	30	50	4	-15	28,5	17,3	8,3
Термос с противоморозными и ускоряющими добавками без прогрева							
1	20	50	2	-5	24,6	12,0	4,8
2	30	30	2	-10	25,7	12,7	5,0
То же с прогревом до $t = 40^\circ\text{C}$ и добавкой С-3							
1	20	70	6	-10	39,2	19,2	2,8
2	30	50	4	-15	40,3	18,8	3,1
Электродный метод прогрева							
1	–	50	2	-5	58,4	13,7	2,3
2	–	30	2	-20	60,8	14,0	2,8
3	–	70	8	-5	90,6	17,3	2,9
4	–	50	10	-10	92,0	18,0	3,6
Обогрев с греющими проводами							
1	–	30	2	-20	60,7	13,6	2,4
2	–	50	4	-15	70,4	13,1	2,9
3	–	50	8	-20	82,9	16,7	3,0
4	–	70	10	-10	90,3	18,2	3,2

#### 4.6. Энергетическое обследование объектов строительства

Одним из основных резервов экономии энергоресурсов является снижение теплопотерь через ограждающие конструкции зданий. Фактические потери тепловой энергии зачастую значительно превышают нормативные. Для определения величины тепловых потерь проводятся приборные обследования зданий. Основной целью таких обследований является выявление наиболее типичных участков с избыточными тепловыми поте-

рями, характерных для данной строительной конструкции, а также определение сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций и соответствия его нормативным требованиям [8], [10].

Эффективный инструмент в поиске утечек тепла из жилых, административных и производственных зданий – тепловизионная диагностика. **Тепловизионная диагностика** выполняется при помощи специального оборудования – инфракрасной камеры, которая подобно обычной видеокамере регистрирует тепловое излучение с поверхности объекта. Обследуя с помощью тепловизора наружные поверхности зданий, можно наглядно увидеть, где тепло уходит в окружающую среду.

Использование тепловизора Agema 550 при обследовании панельных жилых зданий серии М464-9 в Минске после 1-2 лет эксплуатации позволило выявить дефекты, связанные как с недостатками проектирования, так и с браком изготовления сборных элементов на заводе и браком строительно-монтажных работ:

- характерный тепловой мостик на лоджии в месте стыка трех панелей (одной внутренней и двух наружных) наблюдается в 100 % случаев, что свидетельствует о неудачном конструктивном решении стыкового элемента;

- конструктивной доработки требует вертикальный стык между наружными панелями, расположенными под углом  $90^\circ$  (рис. 63). Практически везде по вертикальному стыку наблюдается интенсивный тепловой мостик. На этом рисунке видно также, что значительные потери тепловой энергии идут через цокольную панель – это тоже конструктивная недоработка;

- требует совершенствования вертикальный и горизонтальный стыки между глухими торцевыми панелями (рис. 64). Опыт эксплуатации панельных зданий показывает, что работы по ремонту стыков начинаются именно с торцевых стыков, и происходит это иногда уже через 1-2 года после ввода здания в эксплуатацию;

- термическое сопротивление большей части смонтированных панелей одной из новых школ Минска не соответствует нормативным требованиям ( $2,5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ ). Только малые панели, расположенные под окнами, близки к требованиям норм, остальные выполнены со значительным отклонением от них, что свидетельствует о заводском браке;

- на рис. 65. ясно виден строительный брак выполнения плоского вертикального стыка между стеновыми панелями выше 6-го этажа. Если с 1-го по 5-й этаж температурное поле стыка не отличается от температурного поля панели, то выше мы видим резкий рост температуры стыка, что говорит о нарушении технологии строительных работ.

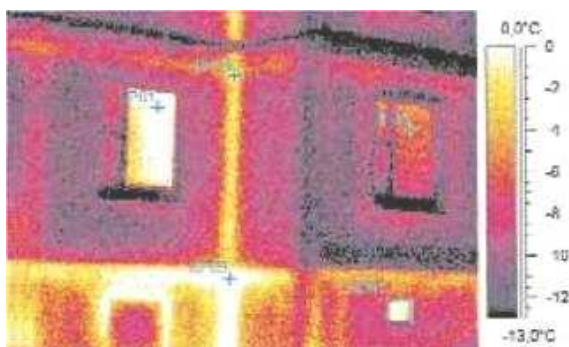


Рис. 63. Увеличенные тепловые потери через цоколь и в стыке между наружными панелями, расположенными под углом 90°

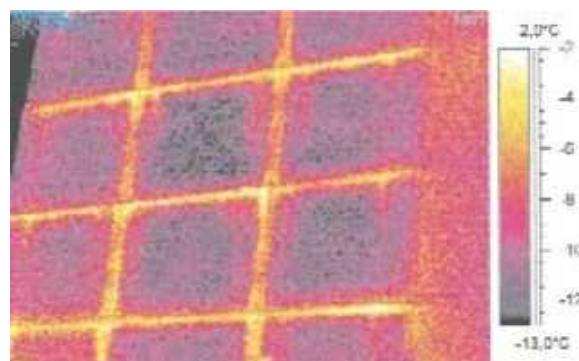


Рис. 64. Более светлые участки – места с увеличенными тепловыми потерями различной интенсивности через стыки, а также тепловые мостики в теле панелей



Рис. 65. Брак в выполнении плоского вертикального шва между стеновыми панелями

В целом следует отметить, применение инфракрасной съемки жилых и административных зданий показало, что наиболее часто встречаются следующие дефекты строительных конструкций:

- некачественная заделка оконных блоков в стены, приводящая к промерзанию и отсыреванию внутренних поверхностей стен;
- недостатки теплоизоляции торцов перекрытий, приводящие к возникновению мостиков холода и появлению холодных зон в отапливаемых помещениях у пола и потолка;
- пониженное сопротивление теплопередаче наружных стен зданий, особенно внешних, примыкающих к окружающему воздуху углов;
- применение современных, эстетичных, но не соответствующих нашим климатическим условиям элементов конструкций, в первую очередь пластиковых окон.

Все эти дефекты приводят к повышенному расходу тепла на отопление зданий, снижению уровня комфорта и потребительских качеств наших жилищ [8].

#### **4.7. Энергоэффективные здания**

**Энергетическая эффективность здания** – это свойство здания и его инженерных систем обеспечивать заданный уровень расхода тепловой энергии для поддержания оптимальных параметров микроклимата помещений.

Энергетическая эффективность измеряется снижением затрат энергии на единицу продукции – 1 м<sup>3</sup> объема помещения, 1 м<sup>2</sup> площади помещения, одно место и т.д. запроектированного здания или сооружения – за счет использования современных энерго- и ресурсосберегающие технологий, позволяющих при существующем потреблении энергии увеличить производительность (площадь, объем или вместимость) запроектированного объекта или при существующей производительности (площади, объеме или вместимости) запроектированного объекта снизить потребление энергии.

Энергоэффективные здания как новое направление в экспериментальном строительстве появились после мирового энергетического кризиса 1974 г. Именно тогда впервые прозвучали доводы о том, что современные здания обладают огромными резервами тепловой эффективности.

##### **4.7.1. Девятиэтажный жилой дом в микрорайоне Красный Бор города Минска**

**Первое энергоэффективное здание в Беларуси введено в эксплуатацию в конце 2007 года.** Это типовая панельная «девятиэтажка» серии 111-90, в микрорайоне Красный Бор г. Минска. Жилой дом оснащен самыми современными техническими системами, которые позволяют экономить 70 % тепловой энергии на отопление, т.е. снизить потребление зданием тепла в 2-3 раза [1].

Энергоэффективный дом запроектирован РУП «Институт НИПТИС им. С. С. Атаева» совместно с ОАО «МАПИД». В здании использован утеплитель разной эффективности, в зависимости от того, где устанавливается стеновая панель: в середине дома, в торце или на последнем этаже. При проектировании металлические детали, которые служили мостиками холода, заменены стеклопластиковой арматурой. Экономия тепловой энергии через стеновую оболочку энергоэффективного здания по сравнению с типовым составляет 21 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год [9].

Систему теплозащиты удачно дополнило сверхтеплое окно, разработанное учеными НИПТИС совместно с коллегами из Института прикладных физических проблем УО «БГУ». Конструкция окон нового поколения включает комбинированную конструкцию из композитных материалов коробки и низкоэмиссионные стекла (рис. 66). Камеры стеклопакетов заполнены аргоном. На поверхность стекла нанесено специальное покрытие, пропускающее инфракрасное излучение внутрь, но не позволяющее теплу уходить из квартиры. Окно обеспечивает термическое сопротивление  $1,19 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ . Таким образом, теплозащитная способность окна вдвое выше, чем обычного. Стоимость «энергосберегающего» окна отечественного производства втрое ниже, чем немецкого аналога.

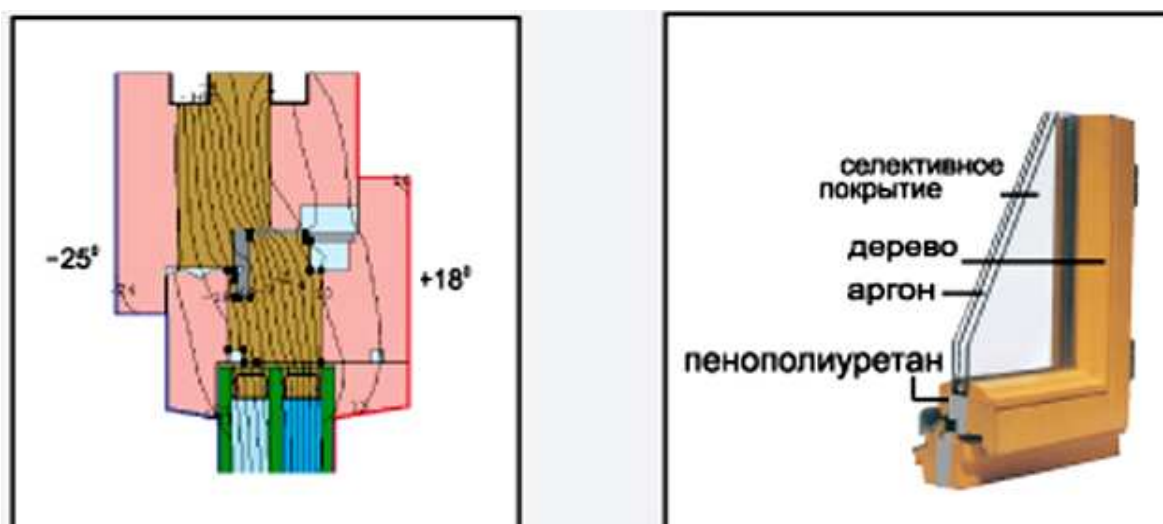


Рис. 66. Энергоэффективное окно конструкции РУП "Института НИПТИС"

Тщательный анализ существующих жилых зданий показал, что через стены и окна уходит лишь половина тепла, а остальные 50 % – через вентиляцию. В энергоэффективном доме внедрена децентрализованная система приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией тепла уходящего из помещений воздуха. В каждой квартире установлены блок вентиляции и управления, позволяющие обеспечить независимое регулирование работы приточного и вытяжного вентиляторов, а также дающего возможность регулировать температурный режим квартиры.

Белорусский рекуператор находится на уровне западных аналогов и обеспечивает возврат 90 % тепла. Особую ценность системе придает то, что она позволяет использовать и тепло, излучаемое бытовыми приборами: холодильником, электрической или газовой плитой. Обычно оно прямиком направляется на улицу, а в энергоэффективном доме греет поступающий



воздух, который распределяется по квартире. Преимуществом индивидуальных приточно-вытяжных вентиляционных систем с рекуперацией является то, что они обеспечивают нормативный уровень воздухообмена в каждой квартире, высокое качество воздуха, которое достигается путем забора его с уровня верхних этажей и фильтрации. Кроме того, они поддерживают оптимальную температуру, влажность и газовый состав воздуха в жилых помещениях. А еще такая система – надежный защитник от конденсата и плесени на стенах и оконных рамах.

При уровне мощности внутренних источников тепла и технологических тепловыделений, равном  $4 \text{ Вт/м}^2$ , и коэффициенте использования этого тепла, равном 0,8, здание дополнительно получит  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$  в год тепловой энергии.

Весомый вклад в экономию вносит также система автоматизации управления тепловыми пунктами, которая, получая информацию с датчиков, не допускает подачи лишнего тепла в системы отопления и горячего водоснабжения. Дублирует эту функцию квартирная система регулирования и учета теплоснабжения и воздухообмена, которая в этом здании использована впервые. С ее помощью жильцы могут сами задать нужный тепловой режим, регулировать качество воздуха, если он покажется им недостаточно свежим или слишком влажным. Микропроцессоры системы можно программировать также на высокую или низкую ночную температуру, на пониженный до  $13\text{-}14^\circ\text{C}$  тепловой режим на время, когда жильцы отсутствуют [9].

Прогнозом социально-экономического развития предусматривается строительство подобных зданий во всех областях республики.

#### **4.7.2. Экодом из соломенных блоков**

Экодома в Беларуси возводятся с использованием технологии возведения ограждающих конструкций из соломенных блоков в каркасном варианте (нагрузку несет деревянный фахверковый каркас).

Соломенный блок при обычной толщине в 50 см показывает превосходные теплоизолирующие свойства, которые после нанесения штукатурки улучшаются. Причем стена остается «дышащей» на порядок выше, чем стена из натуральных бревен. Стены с их структурной поверхностью создают необыкновенный климат в помещении. Коэффициенты теплопроводности соломенной стены  $0,12 \text{ Вт/м}^2\text{K}$ .

Соломенный экодом выполняется, как правило, энергопассивным: ограждающие конструкции имеют коэффициент сопротивления теплопе-

редаче не менее 8 (современные СНиПы требуют 2,5). Потребность энергии для отопления – менее 40 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год.

При строительстве экодома не используются землеройные и грузоподъемные механизмы, так как стены легки и не требуют большого количества железобетона в фундаменте. Эта технология обеспечивает снижение энергозатрат при строительстве по сравнению с кирпичными/газосиликатными ограждающими конструкциями с современными утеплителями на 1 м<sup>2</sup> общей площади как минимум в 300 раз.

Высокая пожарная безопасность (после оштукатуривания) подтверждена официальными испытаниями. Конструкция оштукатуренной соломенной стены была официально протестирована в США, отнесена к предельному классу по огнестойкости F119 (металлическая ферма, например, относится к классу F15, т.е. теряет несущую способность через 15 мин после воздействия открытого огня).

Сроки строительства – с момента начала земляных работ (фундамента) до момента заселения проходит около 14 недель, если стройка ведется ритмично. Стоимость строительства составляет около 260 у.е./м<sup>2</sup> общей площади с отделкой "под обои" в базовом варианте [42].

В проекте двухэтажного дома с мансардой (244,8 м<sup>2</sup>), построенного в Минске (Трубный пер. 11), предусмотрены самонесущие стены по деревянному каркасу (120×120 мм) с последующим заполнением соломенными тюками (1000×500×360 мм), уложенными в кладку на цементно-песчаном растворе М50. Через каждые два ряда, крепятся к каркасу проволокой 0,2 мм. Перед укладкой тюки окунаются в известковый раствор в смеси с бурой (1:100) с последующей сушкой. Толщина стен принята 550 мм по ТУ РБ 0207/903.190/99 «Тюки соломенные прессованные строительные».

Этапы строительства дома из соломенных блоков представлены на рис. 67.



Рис. 67. Этапы строительства дома из соломенных блоков: а – устройство деревянного каркаса; б – устройство кровли и заполнение каркаса соломенными блоками; в – оштукатуривание фасада

В Беларуси первые экодому из соломенных блоков были построены в 1996 году. В 1999 году после официального тестирования Минстройархитектуры РБ рекомендовал проекты этих экодому к повторному применению. Их возведение продолжается в возрастающих объемах. Население сегодня обеспокоено экологическим качеством своего жилища (проблемами влияния на здоровье полистирола, ПВХ, фенолформальдегида и т.д.) и затратами на отопление. Доказано практикой, что на отопление 1 м<sup>2</sup> соломенного экодому тратится в 3 раза меньше энергии.

На стыке Логойского и Минского районов в Беларучах запланировано возвести своеобразный микрорайон из одноэтажных блокированных соломенных домов. Неподалеку от него задумано выполнить рекультивацию и благоустроить территорию полигона твердых бытовых отходов, на берегу озера с проточной родниковой водой построить экотуристскую усадьбу с водяной мельницей. Эта мельница станет и мини-ГЭС, энергетические мощности которой дополнят солнечные коллекторы и фотоэлектрические батареи экодому.

#### **4.7.3. Строительство энергоэффективных районов в Финляндии**

Строительство энергоэффективных районов или поселков по сравнению со строительством отдельных демонстрационных энергоэффективных зданий позволяет на принципиально более высоком уровне изучить в реальных условиях энергосберегающие технологии, а также их взаимосвязь с экологическими и социальными условиями.

Идея строительства демонстрационных энергоэффективных районов или поселков родилась и развивалась практически одновременно с идеей строительства отдельных демонстрационных энергоэффективных зданий.

Цель строительства демонстрационного жилого района Viikki в Финляндии – выявление эффективности энергосберегающих технологий в реальных условиях во взаимосвязи с экологическими и социальными аспектами. Проект должен был отвечать социальным, экологическим и энергетическим требованиям [32].

##### **1. Социальные требования:**

- создание городской архитектуры, обеспечивающей высокое качество среды обитания людей;
- сохранение окружающей среды;
- создание разнообразных функциональных особенностей жизнедеятельности района;
- экономичность при поддержании жизненного цикла.

## 2. Экологические и энергетические требования:

- отказ от использования технологических процессов и источников энергии, загрязняющих окружающую среду;
- сокращение использования природного топлива;
- увеличение объема использования возобновляемых источников энергии;
- повышение качества микроклимата помещений;
- утилизация тепла и повторное использование водных ресурсов.

При проектировании района учитывались **местные климатические особенности**, способствующие повышению комфортности в застройке и снижению энергетической нагрузки на тепло- и энергоснабжение зданий. Ориентация здания выбиралась так, чтобы максимально использовать тепло и свет солнечной радиации, т.е. ориентация фасадов и большой площади остекления на юг. Размещение галерей для прохода на южной стороне здания улучшало защиту от ветра. Изучалось влияние формы и расположения зданий на ветровые потоки (рис. 68).

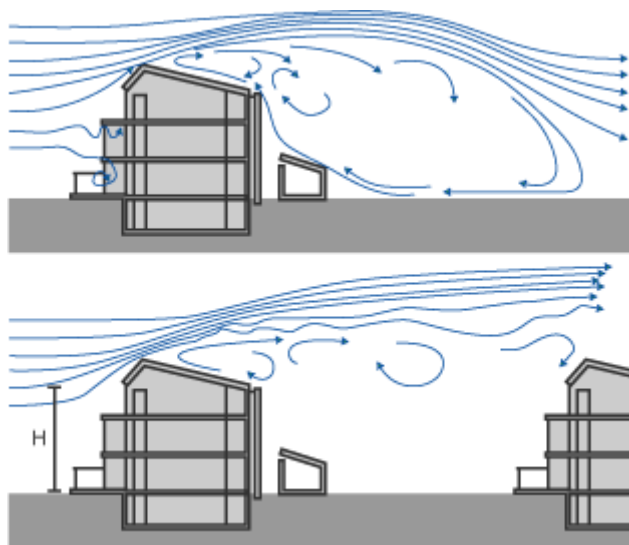


Рис. 68. Влияние формы и расположения зданий на ветровые потоки

Энергоснабжение района Viikki обеспечивается комбинацией районного тепло-, электроснабжения Хельсинки и солнечного теплоснабжения. На балконах некоторых многоэтажных домов установлены фотоэлектрические панели.

При проектировании систем отопления и вентиляции жилых домов были применены следующие технические решения, повышающие их энергетическую эффективность:

- использование тепла обратной воды системы теплоснабжения для напольного отопления;
- утилизация тепла удаляемого воздуха;
- индивидуальная механическая вентиляция с рекуперацией тепла отдельно для каждой квартиры;
- повышение эффективности систем естественной вентиляции за счет специальной конструкции дефлекторов;
- вентиляция помещений при помощи предварительного подогрева наружного воздуха, подаваемого через окна специальной конструкции или остекленные балконы;
- использование низкотемпературных отопительных систем;
- использование солнечных коллекторов, подключенных к магистралям горячей воды;
- использование счетчиков тепла и индивидуальный контроль температуры в каждом помещении.

Жилые дома оборудованы центральными и поквартирными системами механической вентиляции с эффективными теплообменниками и системами естественной вентиляции. В центральной механической системе вентиляции теплообменник располагается на чердаке здания, в поквартирной – теплообменник устанавливается в каждой квартире. Часть зданий оборудована системой естественной вентиляции. Приток воздуха осуществляется через специальные приточные устройства, расположенные в стене за отопительными приборами (рис. 69), или через окна со специальным устройством для забора наружного воздуха (рис. 70). Наружный воздух протекает между оконными стеклами и таким образом подогревается. Вытяжка осуществляется через вытяжной канал, оборудованный на конце дефлектором особой конструкции.

Отопление в зданиях – центральное, с подключением к районному теплоснабжению Хельсинки. Отопительные приборы – радиаторы и теплые полы. Солнечные коллекторы в основном используются для приготовления горячей воды. Использование солнечных коллекторов, подключенных к магистралям горячей воды системы централизованного теплоснабжения, обеспечивает экономию энергии на нагрев горячей воды на 61 %.

В соответствии с повышенными требованиями к теплозащите ограждающие конструкции выполнены из энергосберегающих материалов с эффективной теплоизоляцией: наружные стены – из изготовленных в заводских условиях деревянных элементов; слоистая фасадная облицовка выполнена с использованием бумаги, изготовленной из бумажных отходов;

конструкция пола представляет собой комбинацию системы напольного отопления с сохраняющим тепло бетонным основанием.

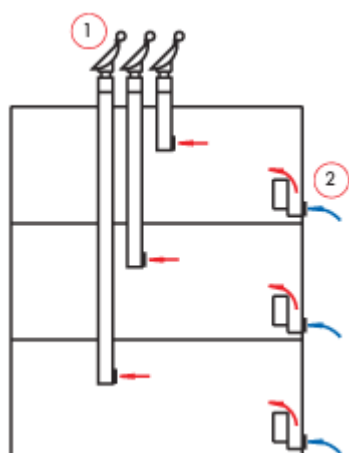


Рис. 69. Схема системы естественной вентиляции. На конце вытяжного канала установлены дефлекторы специальной конструкции (1). Приточные устройства расположены за отопительными приборами (2)

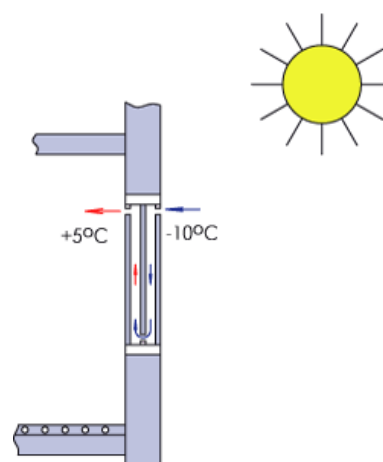


Рис. 70. Вентиляция помещений при помощи предварительного подогрева наружного воздуха, подаваемого через окна специальной конструкции

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций:

- наружных стен –  $4,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;
- покрытия –  $7,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;
- перекрытия 1-го этажа –  $5,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;
- окон –  $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Система тепло- и энергоснабжения жилого района Viikki помимо подключения к городским сетям централизованного тепло- и электроснабжения включает в себя крупнейшую в Финляндии установку по использованию солнечной энергии. При разработке этого проекта были применены новейшие концепции использования солнечной энергии и интеграции солнечных систем в зданиях.

Система солнечного теплоснабжения состоит из восьми установленных на зданиях солнечных коллекторов общей площадью  $1248 \text{ м}^2$ . Эти солнечные нагревательные системы обеспечивают централизованное теплоснабжение и в некоторых случаях производят также обогрев помещений при помощи систем подогрева пола.

В жилом районе Viikki демонстрируются новые солнечные комбинированные системы, интеграция коллектора с крышей, системы пассивного использования солнечной радиации, параллельное использование систем

солнечного обогрева и систем централизованного теплоснабжения, в солнечных коллекторах используются модули большой площади (с размером блока коллектора  $10 \text{ м}^2$ ).

Солнечные коллекторы встроены в конструкцию крыши жилого дома и установлены под углом  $47 - 60^\circ$  (рис. 71). Такие углы оптимальны, т.к. они соответствуют наклону солнца осенью, зимой и весной, когда имеется наибольшая потребность в энергии.

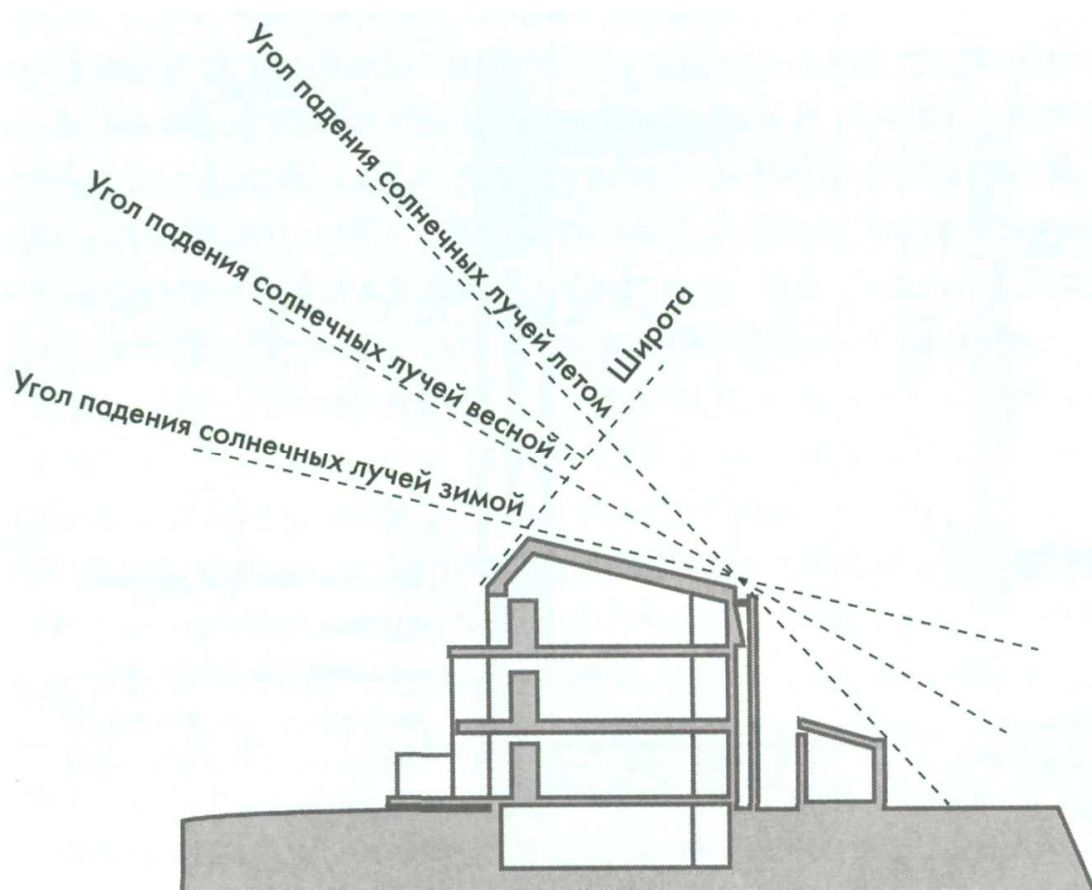


Рис. 71. Солнечные коллекторы встроены в конструкцию крыши жилого дома и установлены под углом  $47 - 60^\circ$  (снизу вверх)

Дома и отдельные площадки подключены к городскому водопроводу и канализационной сети. Жилища оборудованы устройствами экономии воды и отдельными счетчиками расхода воды. Дождевая вода с крыш фильтруется и направляется в резервуары для полива. В малом масштабе применяется разделение и использование сточных вод. Согласно требованиям охраны здоровья, перед повторным использованием сточные воды очищаются. Между домами прокладывается сеть биологических каналов, включающая фильтрационные пруды для сточных вод и резервуары для полива.

Методы снижения расхода воды:

- индивидуальная плата за потребляемую воду;
- санитарно-техническое оборудование, экономящее расход воды;
- использование отдельных счетчиков расхода воды;
- общие сауны и прачечные вместо индивидуальных.

В экологической жилой зоне отходы рассматриваются как вид ресурса, поэтому удаление отходов заменено технологией повторного их использования. Повторное использование биологических отходов производится в самой жилой зоне благодаря наличию больших участков, предназначенных для применения компостного гумуса. Имеется примыкающий к общей площади центр повторного использования отходов всего района площадью  $70 \text{ м}^2$ ; крытый сборный пункт площадью  $25 \text{ м}^2$  с открытой площадкой площадью  $10 \text{ м}^2$ . Не допускается образование дополнительных отходов, поощряется повторное использование отходов на месте. Отходы сортируются на месте и собираются таким образом, чтобы причинить минимум вреда окружающей среде [32].



## ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

### Контрольная работа № 1

1. Назовите основную цель энергетической политики Республики Беларусь?
2. Перечислите основные направления энергетической политики Республики Беларусь.
3. Дайте определение понятию «энергосбережение» согласно Закону «Об энергосбережении».
4. Какие правовые основы предусматривает Закон «Об энергосбережении»?
5. Какие мероприятия запланированы республиканской программой «Энергосбережение»?
6. Какие функции выполняет государственный надзор в области энергосбережения?
7. Что представляет собой энергетический аудит?
8. Назовите основные задачи энергоаудита.
9. Что включает в себя энергетический менеджмент?
10. Дайте определение понятию энергия. Назовите основные виды энергии.
11. Назовите область применения тепловой и электрической энергии.
12. Назовите единицы измерения количества теплоты, механической и электрической энергии.
13. Что представляет собой единица учета топлива?
14. Какой показатель оценивает уровень энергоэффективности производства?
15. Что называется энергетическим ресурсом?
16. Как классифицируют первичные энергетические ресурсы по признаку сохранения запасов?
17. Что называется первичной энергией?
18. Какие источники энергии относятся к невозобновляемым?
19. Какие источники энергии относятся к возобновляемым?
20. Перечислите особенности возобновляемых источников энергии.
21. Что является вторичным энергетическим ресурсом?
22. Какие Вы знаете местные топливно-энергетические ресурсы?
23. Перечислите и охарактеризуйте циклы производства электроэнергии на теплоэлектростанциях.
24. Какова эффективность использования энергии первичного топлива на ТЭС и ТЭЦ?
25. Опишите принцип действия атомной электростанции.
26. Существуют одноконтурные, двухконтурные, трехконтурные схемы ядерных энергоустановок. Для чего нужны дополнительные контуры?
27. Сколько энергии вырабатывается при сжигании 1 кг ядерного топлива?
28. Что представляет собой биомасса?
29. Назовите основные методы переработки биомассы.
30. Какие энергетические продукты можно получить из биомассы при использовании термохимических методов?
31. Какие Вы знаете биохимические методы переработки биомассы?
32. Опишите принцип действия установки для получения биогаза из отходов животноводства.
33. Дайте определение понятию экстракция топлив.

34. Какие гидроэнергетические установки относятся к малым ГЭС в Республике Беларусь?
35. Опишите принцип действия ГЭС?
36. От чего зависит мощность, развиваемая потоком падающей воды?
37. Как определяется КПД гидроэлектростанции?
38. Назовите основные элементы ветроэнергетических установок.
39. Какие виды ветровых колес Вы знаете?
40. Как рассчитывается значение скорости ветра на заданной высоте?
41. Как рассчитывается мощность, развиваемая ветроэнергетической установкой?
42. При какой среднегодовой скорости ветра эффективна современная ветротехника?
43. Какие варианты использования солнечной энергии целесообразны в Республике Беларусь?
44. Что представляет собой солнечный коллектор?
45. Начертите схему плоского солнечного коллектора системы воздушного теплоснабжения.
46. Начертите принципиальную схему простейшей одноконтурной солнечной водонагревательной установки с естественной циркуляцией теплоносителя.
47. Что представляет собой пассивная система солнечного отопления?
48. Назовите способы преобразования потока солнечной энергии в электричество.
49. Опишите принцип действия солнечного коллектора с концентраторами.
50. Какие опасные вещества выбрасываются в атмосферу энергетическими объектами?

#### Контрольная работа № 2

1. Что включает в себя система теплоснабжения?
2. Назовите причины потерь теплоты при транспортировке тепловой энергии по теплопроводам?
3. Что представляют собой предизолированные трубы?
4. Каковы теплотери при использовании предизолированных труб?
5. Каким образом можно уменьшить потери теплоты в окружающую среду при транспортировке?
6. Перечислите основные элементы поквартирного отопления.
7. Каковы преимущества поквартирного отопления по сравнению с традиционным централизованным?
8. Опишите принцип действия теплового насоса.
9. Каковы особенности работы тепловых насосов при использовании грунта в качестве источника тепла?
10. Каковы особенности работы тепловых насосов при использовании грунтовых вод в качестве источника тепла?
11. Какие источники тепла для тепловых насосов являются перспективными в нашей республике?
12. Как компенсируются собственникам жилья затраты на приобретение и установку приборов учета расхода воды?
13. Как влияет установка приборов учета на расход воды потребителями?
14. Назовите виды теплосчетчиков и принцип их работы.
15. Какова эффективность систем регулирования теплоснабжения?

16. Какую функцию выполняет циркуляционный насос?
17. Чему равно нормативное значение сопротивления теплопередаче наружных стен зданий, окон?
18. Какие системы утепления зданий используются в Беларуси?
19. Назовите теплоизоляционные материалы, которые используются в системах утепления зданий.
20. Что представляет собой стеклопакет?
21. Как увеличить сопротивление теплопередаче стеклопакета?
22. Какие виды низкоэмиссионных стекол Вы знаете? Чем они отличаются?
23. Назовите преимущества низкоэмиссионных стекол по сравнению с обычными.
24. Какое влияние оказывает зашторивание и экранирование окон на теплопотери?
25. За счет каких физических процессов повышается теплозащита окон при установке экранов в межстекольном пространстве?
26. Какие шторы устанавливаются в межстекольном пространстве окон?
27. Какие энергосберегающие светильники Вы знаете?
28. Назовите отличительные особенности энергосберегающих люминисцентных ламп.
29. Каков срок службы ламп накаливания, компактных люминисцентных ламп?
30. Назовите меры по рациональному использованию электроэнергии в быту.

### Контрольная работа № 3

1. Перечислите наиболее энергозатратные производства Министерства архитектуры и строительства.
2. Какой способ производства цемента требует меньших затрат энергии?
3. Какие меры принимаются в республике для снижения энергоемкости производства цемента?
4. Чем вызван высокий удельный расход энергоносителей при производстве извести по «мокрому» способу?
5. Чем отличается «сухой» способ производства извести от «мокрого»? Какова его эффективность?
6. В чем заключается принципиальное отличие энергосберегающей скоростной технологии производства высококачественной порошковой извести от «сухого» способа производства?
7. Назовите основные направления снижения затрат топлива при производстве кирпича.
8. Каким образом получают поризованную пустотелую керамику?
9. Назовите преимущества стеновых материалов из поризованной керамики.
10. Что включают в себя работы по модернизации стекловаренных печей? Какой эффект они обеспечивают?
11. Что представляют собой вторичные энергетические ресурсы на предприятиях стройматериалов?
12. Какие местные виды топлива используются на предприятиях стройматериалов?
13. Дайте определение понятию «когенерация».
14. Какие типы когенерационных систем Вы знаете?
15. На какие процессы затрачивается наибольшее количество энергии при производстве сборного железобетона?

16. Какие технологические приемы используются для снижения расхода цемента при производстве сборного железобетона?
17. Каким образом может быть уменьшена температура и длительность тепловлажной обработки сборного железобетона?
18. Какие химические добавки позволяют снизить энергоемкость производства сборного железобетона?
19. Что представляет собой методика определения энергетической эффективности суперпластификаторов?
20. Какие вопросы подлежат рассмотрению при проведении энергетической экспертизы архитектурно-планировочных и конструктивных решений проектов?
21. Какие архитектурно-планировочные решения позволяют снизить энергоемкость зданий на стадии проектирования?
22. Каким требованиям должны отвечать энергоэффективные конструктивные системы?
23. Что представляет собой сборно-монолитный каркас «АРКОС»?
24. Какие мероприятия обеспечивают наибольший эффект для сокращения энергоемкости производства строительно-монтажных работ?
25. Дайте характеристику зимним методам бетонирования с точки зрения энергозатрат.
26. С какой целью проводится тепловизионная диагностика зданий?
27. Дайте определение понятию «энергетическая эффективность здания»?
28. Какие технические и конструктивные решения применены в первом энергоэффективном здании Беларуси?
29. Что Вы знаете о строительстве экологически чистого жилья в Беларуси?
30. Что представляют собой ширококорпусные жилые дома?

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Бережливый» дом // Республиканская строительная газета. – 2009. – 6 янв. – № 1-2.
2. Акулич, С. Модернизация стекловаренных печей / С. Акулич // Архитектура и строительство. – 2008. – № 1. – С. 46 – 47.
3. Американские ученые делают ставку на водород. Российские – на гелий-3 // Российская академия наук [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ras.ru/news/> – Дата доступа: 27.02.06.
4. Бабаев, Ж.Т. Энергосберегающая технология железобетонных конструкций из высокопрочного бетона с химическими добавками / Ж.Т. Бабаев, А.А. Комар. – М.: Стройиздат, 1987. – 240 с.
5. Бильдюкевич, В. Энергосберегающая технология производства извести из рыхлого мела / В. Бильдюкевич // Архитектура и строительство. – 2007. – № 3. – С. 106 – 108.
6. Булгаков, С.Н. Энергоэкономичные ширококорпусные жилые дома XXI века / С.Н. Булгаков, А.И. Виноградов. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 296 с.
7. Винокуров, Е. Перспективы интеграции атомно-энергетических комплексов России и Казахстана / Е. Винокуров // Агентство ПРОАтом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php>. – Дата доступа: 15.06.2007.
8. Войтехович, В.Н. Тепловизионный контроль качества как один из инструментов энергосбережения в строительстве / В.Н. Войтехович // Новости теплоснабжения. – 2000. – № 3.
9. Данилеский, Л. Энергоэффективный панельных дом серии 111-90 МАПИД / Л. Данилеский, В. Пилипенко, В. Потерщук // Архитектура и строительство. – 2007. – № 2. – С. 98 – 101.
10. Долгов, А. Б. Тепловизионная диагностика: новый эффективный инструмент в решении проблем энергосбережения / А. Б. Долгов // Энергоресурсосбережение в строительстве и жилищно-коммунальном комплексе: тезисы докладов Всероссийской науч.-практ. конф., Ярославль, 1-2 окт. 2003 г. / Ярославль, 2003.
11. Как сделать стеклопакет теплым, легким и тонким (использование криптона в стеклопакетах для повышения энергоэффективности оконных конструкций) / А.А. Голубев [и др.]. – АПРОК [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.aprok.ru/articles/articles\\_119/php](http://www.aprok.ru/articles/articles_119/php). – Дата доступа: 26.02.08.
12. Кондратьев, М. Надежность и топливная безопасность современной АЭС / М. Кондратьев, С. Киринович // Архитектура и строительство. – 2007. – № 3. – С. 120 – 123.
13. Леоневский, В. Использование вторичных энергоресурсов и местных видов топлива на предприятиях стройматериалов / В. Леоневский // Архитектура и строительство. – 2007. – № 4. – С. 74 – 75.
14. Лысов, В.П. Прогрев бетона в зимних условиях / В.П. Лысов // Мастерская. – 2007. – № 1-2. – С. 46 – 49.
15. Малец, В. Проблемы энергосбережения в производстве строительных материалов / В. Малец, Е. Подлuzский // Архитектура и строительство. – № 9. – 2007. – С. 52 – 54.
16. Михалевич, А.А. Введение в энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент: учеб. пособие для студентов вузов / А.А. Михалевич. – Минск: БГТУ, 2002. – 267 с.

17. Низкоэмиссионные стекла. – Окна - Trocal [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.okna-trocal.ru>. – Дата доступа: 04.03.2008.
18. Ничкасов, А. Индустриализация строительства жилья на основе сборно-монолитных конструкций – важнейшее направление повышения его эффективности / А. Ничкасов, А. Мордич / Архитектура и строительство [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ais.by>. – Дата доступа: 26.02.2008.
19. ОАО «Керамика»: ресурсы энергосбережения // Республиканская строительная газета. – 2009. – 6 янв. – № 1-2.
20. Об организации проведения государственной экспертизы градостроительных, архитектурных и строительных проектов, обоснований инвестирования в строительство: Постановление Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 17.12.2008 № 63 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь № 8/20363. – 2009.
21. Об энергосбережении: Закон Респ. Беларусь, 15 июля 1998 г. № 190-3: принят Палатой представителей 19 июня 1998 г.; одобрен Советом Респ. 29 июня 1998 г. // Вед. Нац. собрания Респ. Беларусь. – 1998 – № 31-32. – с. 470.
22. Основы энергосбережения: учеб. пособие / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. – 2-е изд., стереотип. – Минск: БГЭУ, 2002. – 198 с.
23. Отопление по индивидуальной программе // Республиканская строительная газета. – 2008. – 11 дек. – № 46.
24. Пахомов, А. Возможности ресурсосбережения в железобетонном производстве / А. Пахомов // Строительная газета. – 2004. – 9 нояб. – № 45.
25. Пекелис, В.Г. Ветроэнергетика Беларуси / В.Г. Пекелис, Н.А. Лаврентьев, Г.Г. Камлюк // Строительство и недвижимость. – 2007. – 24 июня. – № 20.
26. Потенциал использования биомассы в Беларуси. – Энергетический портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.reenergy.by>. – Дата доступа: 03.11.2006.
27. Рекам придется напрячься // PRO электричество. – 2007. – № 3(23).
28. Сергачев, С. Ветряные мельницы Беларуси / С. Сергачев // Архитектура и строительство. – 2006. – № 3. – С. 32 – 36.
29. Соколовский, Л. Сбережение тепловой и электрической энергии при производстве бетона и железобетона / Л. Соколовский // Строительство и недвижимость. – 2001. – № 17.
30. Соколовский, Л. Снижение энергопотребления при строительномонтажных работах и эксплуатации зданий / Л. Соколовский // Строительство и недвижимость. – 2001. – № 13.
31. Соколовский, Л. Сокращение расходов ТЭР при проектировании / Л. Соколовский // Строительство и недвижимость. – 2001. – № 14.
32. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
33. Теплая сила ветра // Республиканская строительная газета. – 2008. – 10 нояб. – № 37
34. Тепловые насосы (ТС). – Экотехноэкономика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ecoteco.ru>. – Дата доступа: 18.03.2008.
35. Теплозащитные шторы и экраны. – Построй свой дом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mensh.ru>. – Дата доступа: 14.02.2007.

36. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2007. – 36 с.
37. Тур, В. Развитие технологии цементного бетона в третьем тысячелетии / В. Тур, О. Игнашева // Архитектура и строительство. – 2002. – № 5. – С. 50 – 56.
38. Туровский, Л. Проблемы перевода цементных заводов с природного газа на уголь и альтернативные виды топлива / Л. Туровский, Д. Волоткович // Архитектура и строительство. – 2007. – № 9. – С. 56 – 57.
39. Химизация бетона – новый этап в технологии строительства (интервью с Н.П. Блещи-ком) // Архитектура и строительство. – 2007. – №4. – С. 71 – 73.
40. Химические добавки для бетонов и строительных растворов. Каталог – КХД1-2007. / М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь; сост. Н.С. Протько. – Минск: Белстройцентр, 2007. – 57 с.
41. Черноусов С.В. Энергетика Беларуси смотрит в будущее / С.В. Черноусов // Энергоэффективность. – 2006. – № 1. – С. 5 – 8.
42. Широков, Е. Развитие альтернативной энергетики в Беларуси / Е. Широков // Энергетический портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://reenergy.by>. – Дата доступа: 19.09.06.
43. Энергосбережение и кадры – по-прежнему основные факторы, определяющие эффективное развитие стройкомплекса Беларуси // Республиканская строительная газета. – 2008 . – 24 октября. – № 39.
44. Энергосбережение и энергетический менеджмент: учеб. пособие / А.А. Андрижневский, В.И. Володин. – 2-е изд., испр. – Минск: Высш. шк., 2005. – 294 с.

*Учебное издание*

ПАРФЕНОВА Людмила Михайловна

## ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальностей 1-70 02 01, 1-70 02 02  
и слушателей ИПК УО «ПГУ» специальности 1-70 02 71

Редактор *О. П. Михайлова*

Дизайн обложки *В. А. Виноградовой*

Подписано в печать 30.03.09. Формат 60 × 84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 11,6. Уч.-изд. л. 11,2. Тираж 120 экз. Заказ № 506.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ 02330/0133020 от 30.04.04    ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29