

С.Н.Сморodin,

В.Н.Белоусов

В.Ю.Лакомкин

МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Санкт-Петербург

2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ»**

**С.Н.Сморodin, В.Н.Белоусов
В.Ю.Лакомкин**

**МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
УСТАНОВКАХ
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2014**

УДК 620.18.004.18(075)
ББК 31.15я7
С 516

Сморозин С.Н., Белоусов В.Н., Лакомкин В.Ю. Методы энергосбережения в энергетических, технологических установках и строительстве: учебное пособие / СПбГТУРП.- СПб., 2014.- 99 с.
– ISBN 978-5-91646-072-8

В учебном пособии рассматриваются энергосберегающие технологии в строительстве, направленные на выполнение правительственной программы по энергосбережению. Подробно рассмотрены тенденции развития энергетики в России и в мире на основе широкого использования возобновляемых источников энергии и инновационных материалов и технологий.

Учебное пособие предназначено для преподавателей и специалистов, занимающихся вопросами энергосбережения и энергоэффективности в учреждениях образования и на предприятиях; для студентов среднего и высшего профессионального образования, обучающихся по направлениям «Экономика», «Менеджмент», «Теплоэнергетика и теплотехника», «Архитектура», «Строительство» и др.

Мнение авторов не обязательно отражает точку зрения ПРООН, других учреждений системы ООН и организаций, сотрудниками которых они являются.

Рецензенты:

зав. кафедрой «Атомная и тепловая энергетика» Института энергетики и транспортных средств Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, д-р техн. наук, проф. В.В.Сергеев;

зав. кафедрой теплотехники и теплоэнергетики Национального минерально-сырьевого университета «Горный», канд. техн. наук., проф. В.А.Лебедев.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия.

ISBN 978-5-91646-072-8

© Программа развития ООН (ПРООН), 2014
© Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, 2014
© Смородин С.Н., Белоусов В.Н., Лакомкин В.Ю., 2014

1. МИРОВОЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС

Энергетика является одной из основ и составных частей инфраструктуры человеческой цивилизации, важнейшим фактором производства и жизнеобеспечения современного общества. В структуре себестоимости продукции расходы на энергоресурсы составляют от 5 до 40 %.

Более 80 % энергии в мире получают путём сжигания ископаемого топлива на ТЭС, при этом распределение по основным энергоносителям выглядит следующим образом: 37 % – нефть, 24 % – газ, 24 % – уголь. Однако среди развитых стран можно отметить исключения. Например, во Франции на долю атомной энергетики приходится около 85 % вырабатываемой энергии, а Норвегия почти 99 % энергии получает на гидроэлектростанциях [5].

Потребление топливно-энергетических ресурсов набирает всё большие обороты. Переломным в изменении темпов прироста потребления энергоресурсов стали 1970-е гг., которые ознаменовались энергетическим кризисом, резким изменением мировых цен на нефть, в результате чего промышленно развитые страны приступили к реализации энергосберегающих программ. Тем не менее, можно с уверенностью утверждать, что потребление энергоресурсов при современных требованиях к жизнедеятельности человека будет неуклонно увеличиваться.

Ещё один аспект, который необходимо отметить – это рост доли нефти и газа в мировом энергобалансе. Однако природные ресурсы не бесконечны. Несмотря на открытие огромных запасов нефти в Западной Сибири, в странах Ближнего Востока и т.д., можно констатировать, что человечество находится на рубеже принятия стратегического решения об изменении подхода к дальнейшему использованию топливно-энергетических ресурсов. Существенное истощение источников доступного природного топлива и конец эры дешёвого углеводородного сырья делают проблематичным стабильное энергообеспечение многих стран мира. По мнению экспертов, запасов газа и, особенно, нефти хватит лет на 50.

За всю свою историю человечество уже использовало до половины извлекаемых запасов традиционного ископаемого топлива, а нынешний спрос на него чуть ли не вчетверо опережает прирост располагаемых ресурсов. Пик добычи прошли уже 54 из 65 стран-производителей нефти, на 2015-2020 гг. прогнозируется её планетарный максимум [7].

По данным Мирового энергетического агентства (МЭА), потребление энергоресурсов в 2010 г. составило 12 млрд тонн нефтяного эквивалента (т н.э.) (рис.1). Прибавка за год составила 639 млн т н.э. или 5,6 % – это самые высокие темпы роста с 1973 г. Заметим, что среднегодовой рост потребления энергоресурсов за последние 45 лет составлял 2,6 % [27].

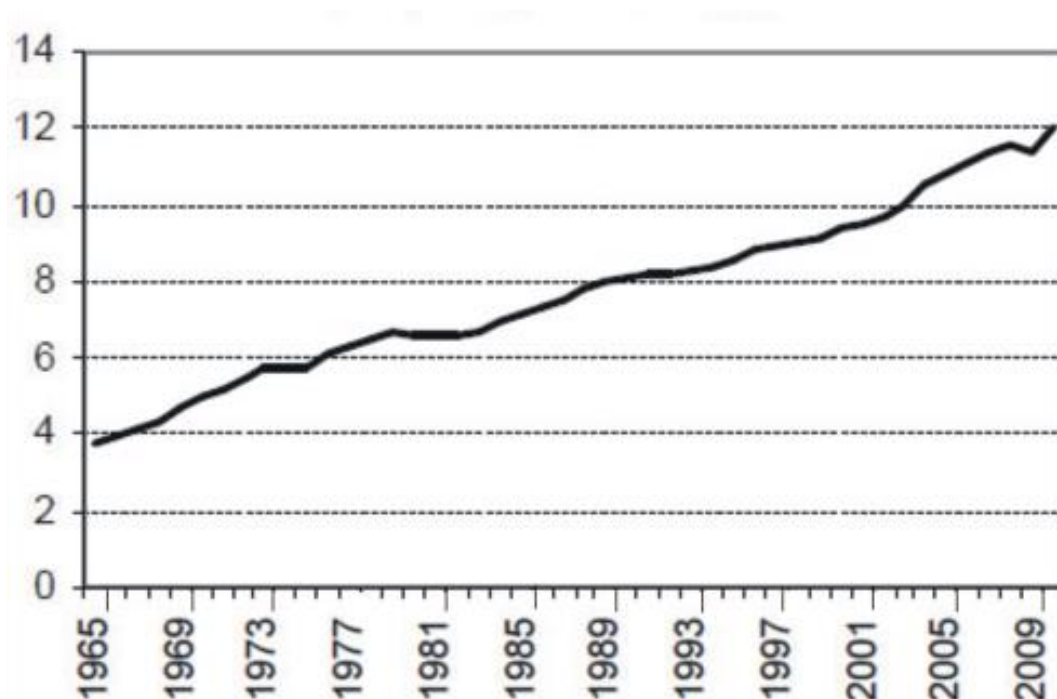


Рис.1. Динамика потребления энергоресурсов, млрд т н.э.

Спрос увеличился на все виды энергоносителей (нефть, газ, уголь, гидроэнергию, атомную энергию, биотопливо) и во всех регионах мира.

По оценкам специалистов МЭА, мировой спрос на первичные энергоресурсы к 2030 г. будет ежегодно расти на 1,6 %. Прогнозируемый рост будет проходить на фоне широкой борьбы практически всех стран за экономию энергии и повышение энергоэффективности, вызовет ряд структурных изменений в мировой промышленности.

При этом вопросы энергообеспечения – всего лишь часть проблемы или верхняя часть «айсберга». Не менее (если не более) важным фактором является экологическая безопасность. *Парниковый эффект* и глобальные климатические катаклизмы последних лет заставляют задуматься, а как же жить дальше?

Перспективными направлениями можно считать термоядерный синтез и, конечно, водородную энергетику. Но это всё пока «вилами по воде писано». Да, продуктом сжигания водорода является вода (водяной пар). Так что, если разложить эту воду на составляющие (водород и кислород), то получается безотходный и безвредный процесс. Одна «маленькая» проблема – свободного водорода на Земле нет. Для его получения требуется энергия. А где её взять?

С помощью так называемых возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, энергия приливов и отливов, геотермальная энергия и т.п.)? Но их доля в мировом энергобалансе пока что очень мала, а, например, в России вообще ничтожна. Значит, опять придётся призвать на помощь ископаемые топлива. Вот такой «заколдованный круг».

2. ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ

Применительно к основным природным энергоресурсам Россия является одной из богатейших стран мира. В конце XX в. по запасам основных видов углеводородного топлива Россия занимала ведущие позиции:

- природный газ – 1-е место – 27,5 % мировых запасов;
- уголь – 2-е место – 16 %;
- нефть – 7-е место – 5 %.

Всего через топливно-энергетический комплекс (ТЭК) России проходит около 1,7 млрд т у.т. в год (примерно 12 т на душу населения).

Какова доля отдельных теплоносителей в суммарном топливно-энергетическом балансе России?

Природный газ. Доказанные запасы природного газа в мире в 2009 г. составляли 187,5 трлн м³, причём на долю стран Ближнего Востока, России и стран бывшего СССР приходится 71 % мировых запасов [21].

Крупнейшее газовое месторождение находится в территориальных водах Катара (Северное) и Ирана (Южный Парс). По данным МЭА, запасы составляют 51 трлн м³ природного газа и 7,9 млрд м³ газового конденсата [54]. При этом на долю России среди восьми крупнейших месторождений приходится шесть: Уренгойское, Ямбургское, Бованенковское, Штокмановское, Арктическое, Астраханское.

Годовая добыча природного газа в России в начале XXI в. составляла 640 млрд м³. Основные месторождения сосредоточены в труднодоступных малонаселённых районах с суровым климатом – Ямало-Ненецкий национальный округ, север Сибири, шельф Северного Ледовитого океана. Примерно половина расходуется внутри страны, вторая половина идёт на экспорт.

Нефть. В настоящее время каждую секунду во всём мире добывается и потребляется примерно 127 т нефти, при этом ведущими производителями являются страны ОПЕК.

ОПЕК – *The Organization of the Petroleum Exporting Countries* – *картель стран-экспортёров нефти, образованный в 1960 г.* По состоянию на начало 2014 г. ОПЕК включает в себя 12 стран: Алжир, Ангола, Венесуэла, Ирак, Иран, Катар, Кувейт, Ливия, Нигерия, ОАЭ, Саудовская Аравия, Эквадор.

Основные месторождения нефти в России (примерно 20 млрд т) сосредоточены в Сибири (Тюменская обл., Новосибирская обл., Омская обл., Красноярский край, Иркутская обл.).

«Нефть – не топливо, топить можно и ассигнациями». Этому замечанию, высказанному Д.И.Менделеевым, уже более 100 лет. Однако с годами оно стало ещё более актуальным. На настоящий момент нефть является ценнейшим технологическим сырьём, предназначенным, в первую очередь, для получения жидких моторных топлив.

Запасы нефти ограничены. В СССР в конце XX в. добыча нефти достигала 620 млн т в год. В 2013 г. добыча нефти в России составила 523 млн т, из них около 45 % пошло на экспорт. При этом доля нефти в общем объеме экспорта составила 33 % [6].

Уголь. Запасы угля значительны, хватит на столетия. Проблема – загрязнение окружающей среды при хранении и сжигании. Основные угольные бассейны России – Канско-Ачинский, Кузнецкий, Печорский, Якутский – расположены далеко от главных потребителей энергии, транспортировка топлива обходится дорого. По разведанным запасам угля Россия, как уже отмечалось, занимает 2-е место в мире (после США) – около 193 млрд т.

3. ПРОГРАММА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В декабре 2010 г. Правительством Российской Федерации принята Государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (далее Программа) [1]. Программа направлена на обеспечение повышения конкурентоспособности, финансовой устойчивости, энергетической и экологической безопасности российской экономики, а также роста уровня и качества жизни населения за счет реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности на основе модернизации, технологического развития и перехода к рациональному и экологически ответственному использованию энергетических ресурсов.

Энергоемкость валового внутреннего продукта России в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в 2,5–3,5 раза выше, чем в развитых странах. Более 90 % мощностей действующих электростанций, 83 % жилых зданий, 70 % котельных, 70 % технологического оборудования электрических сетей и 66 % тепловых сетей было построено еще до 1990 г. Из эксплуатируемых в промышленности основных фондов 15 % полностью изношены.

Уровни энергоемкости производства важнейших отечественных промышленных продуктов выше среднемировых в 1,2–2 раза и выше лучших мировых образцов в 1,5–4 раза. Низкая энергетическая эффективность порождает низкую конкурентоспособность российской промышленности. При приближении внутренних цен на энергетические ресурсы к мировым российская промышленность может выжить в конкурентной борьбе только при условии значительного повышения энергетической эффективности производства.

Высокая энергоёмкость при росте тарифов на энергоносители затрудняет борьбу с инфляцией. Рост тарифов на энергоносители необходим для обеспечения развития топливно-энергетического комплекса. Однако рост нагрузки по оплате энергоносителей, выходящий за пределы платежной способности населения, затрудняет борьбу с бедностью, не позволяет обеспечить высокую собираемость платежей и порождает недовольство

граждан. Низкая энергетическая эффективность жилищно-коммунального комплекса и бюджетной сферы ведет к высокой нагрузке коммунальных платежей на местные бюджеты, бюджеты субъектов Российской Федерации и федеральный бюджет, что снижает финансовую стабильность.

Основные организационные мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электроэнергетике охватывают:

- внедрение систем мониторинга энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- обучение и повышение квалификации руководителей и специалистов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- разработку и внедрение системы энергетического менеджмента.

Планируется осуществление технических мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности на конденсационных электростанциях на газе и твёрдом топливе, теплоэлектроцентралях.

При техническом перевооружении действующих электростанций будет производиться:

- вывод из эксплуатации неэкономичного, выработавшего моральный и физический ресурс паросилового оборудования газовых тепловых электростанций и замещение его новыми установками с использованием газотурбинных и парогазовых технологий; модернизация и реконструкция действующих конденсационных и теплофикационных установок и станций с использованием современного энергоэффективного оборудования;
- вывод из эксплуатации морально и физически устаревшего оборудования с низкими параметрами пара угольных тепловых электростанций; замещение его новыми установками с использованием эффективных экологически чистых угольных технологий; модернизация и реконструкция действующих конденсационных и теплофикационных агрегатов с целью повышения их энергетической эффективности.

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электроэнергетике также связаны с необходимостью вывода из эксплуатации дизельных электростанций, выработавших ресурс, строительства новых дизельных электростанций с использованием современных технологий (в условиях укрупнения и консолидирования поселков, их частичного закрытия, развития сетевого хозяйства), модернизации дизельных электростанций с использованием современного энергоэффективного оборудования.

Реализация мероприятий Программы обеспечит снижение среднего эксплуатационного удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии от тепловых электростанций до 318 г у.т./кВт·ч в 2015 г. и до 300 г у.т./кВт·ч в 2020 г.

В электросетевом хозяйстве планируется повышение технического уровня, расширение освоения и внедрения в Единой энергетической системе

России новых энергоэффективных инновационных технологий, разработка на их основе проектных решений.

Ключевыми элементами энергосбережения и повышения энергетической эффективности в электроэнергетике являются наличие российских или иностранных лицензионных технологий с учетом прохождения стадии демонстрационных проектов, их унификация и типовое проектирование. Условием, необходимым для выполнения задач по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электроэнергетике, является разработка новых технологий и освоение отечественным энергетическим машиностроением производства нового оборудования.

Основные технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электросетевом хозяйстве направлены на снижение потерь электроэнергии и совершенствование системы коммерческого и технического учета электроэнергии в электрических сетях и у потребителей.

Планируется выполнение крупномасштабных работ по реконструкции электрических сетей с целью повышения их надежности и эффективности.

Реализация мероприятий программы должна обеспечить снижение потерь в электрических сетях до 8–9 % в 2020 г.

Технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электроэнергетике:

1) энергосбережение и повышение энергетической эффективности при производстве электроэнергии:

– на газовых станциях, в том числе за счёт вывода из эксплуатации газовых станций, выработавших ресурс, строительства станций с использованием газотурбинных и парогазовых технологий, модернизации станций с использованием современного оборудования с КПД для вновь вводимого генерирующего оборудования не ниже 55 % в 2011–2015 гг. и не ниже 60 % в 2016–2020 гг.;

– на угольных станциях, в том числе за счёт вывода из эксплуатации угольных станций, выработавших ресурс, строительства новых угольных станций и модернизации станций с использованием современных технологий (суперсверхкритических параметров пара, котлоагрегатов с циркулирующим кипящим слоем и других) с КПД для всего вводимого генерирующего оборудования на угле не ниже 43 % в 2011–2015 гг. и не ниже 48 % в 2016–2020 гг.;

– на дизельных электростанциях, в том числе за счёт вывода из эксплуатации дизельных электростанций, выработавших ресурс, строительства новых ДЭС с использованием современных технологий, модернизации ДЭС с использованием нового современного энергоэффективного оборудования со снижением среднего расхода топлива до 356 г у.т./кВт·ч;

2) энергосбережение и повышение энергетической эффективности при передаче электроэнергии, в том числе за счёт:

- реконструкции трансформаторных подстанций;
- реконструкции магистральных электрических сетей высокого напряжения (110 кВ и выше), распределительных электрических сетей среднего и низкого напряжения (35 – 0,38 кВ);
- совершенствования системы коммерческого и технического учёта электроэнергии.

В результате реализации мероприятий Программы планируется достижение годовой экономии первичной энергии в объёме 25,32 млн т у.т. к концу I этапа (к 2016 г.) и 58,05 млн т у.т. к концу II этапа (к 2021 г.) и суммарной экономии первичной энергии в объёме 82,45 млн т у.т. на I этапе (2011–2015 гг.) и 312,81 млн т у.т. за весь срок реализации Программы (2011–2020 гг.).

Основные организационные мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в теплоснабжении и системах коммунальной инфраструктуры охватывают:

- создание нормативной правовой базы, регулирующей вопросы развития систем централизованного теплоснабжения городских округов и городских поселений на основе использования преимуществ когенерационных и тригенерационных теплоэнергетических установок;
- введение управления системами централизованного теплоснабжения поселений через единого теплового диспетчера;
- совершенствование тарифной политики в сфере теплоснабжения, стимулирующей экономию энергетических ресурсов, в том числе переход к расчетам потребителей тепловой энергии с теплоснабжающими организациями на основе двухставочных тарифов, стимулирование потребителей к установке приборов учета;
- совершенствование налоговой политики, стимулирующей экономию энергетических ресурсов;
- повышение качества теплоснабжения, введение показателей качества тепловой энергии, режимов теплопотребления и условий осуществления контроля их соблюдения как со стороны потребителей, так и со стороны энергоснабжающих организаций с установлением размера санкций за их нарушение;
- обеспечение системного подхода при оптимизации работы систем централизованного теплоснабжения путем реализации комплексных мероприятий не только в тепловых сетях (наладка, регулировка, оптимизация гидравлического режима), но и в системах теплопотребления непосредственно в зданиях (утепление строительной части зданий, проведение работ по устранению дефектов проекта и монтажа систем отопления);
- реализация типовых проектов «Энергоэффективный город», «Энергоэффективный квартал», «Энергоэффективный дом»;

– проведение обязательных энергетических обследований теплоснабжающих организаций и организаций коммунального комплекса;

– реализация типового проекта «Эффективная генерация», направленного на модернизацию и реконструкцию котельных, ликвидацию неэффективно работающих котельных и передачу тепловой нагрузки на эффективную когенерацию, снижение на этой основе затрат топлива на выработку тепла;

– реализация типового проекта «Надежные сети», включающего мероприятия по модернизации и реконструкции тепловых сетей с применением новейших технологий и снижению на этой основе затрат на транспорт тепла, использованию предварительно изолированных труб высокой заводской готовности с высокими теплозащитными свойствами теплоизоляционной конструкции, герметично изолированной теплоизоляцией от увлажнения извне и с устройством системы диагностики состояния изоляции, обеспечению применения вместо сальниковых компенсаторов сильфонных, исключающих утечки теплоносителя;

– совершенствование государственного нормирования и контроля технологических потерь в тепловых сетях при передаче тепловой энергии на основе использования современных норм проектирования тепловых сетей.

Достижение целевых показателей энергосбережения и повышения энергетической эффективности в системах коммунальной инфраструктуры планируется с учётом реализации мероприятий, предусмотренных Концепцией федеральной целевой программы «Комплексная программа модернизации и реформирования жилищно-коммунального хозяйства на 2010-2020 годы», утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 февраля 2010 г. № 102-р [2].

Технические мероприятия в теплоснабжении:

1) энергосбережение и повышение энергетической эффективности при производстве тепловой энергии котельными, в том числе модернизация действующих и строительство новых котельных мощностью от 3 до 100 Гкал/ч;

2) энергосбережение и повышение энергетической эффективности при передаче тепловой энергии по тепловым сетям, в том числе строительство новых тепловых сетей, ремонт и замена действующих тепловых сетей (диаметром до 200 мм; от 200 до 400 мм; от 400 до 600 мм; свыше 600 мм) с использованием современных технологий и видов теплоизоляции со снижением доли потерь тепловой энергии в 2020 г. до 10,7 %;

3) внедрение когенерации на котельных, в том числе совместная выработка тепловой и электрической энергии на котельных за счёт использования перепада давления пара на паровых котельных для выработки электроэнергии (достаточной для покрытия собственных нужд), внедрение газотурбинных надстроек в газовых котельных с целью выработки электроэнергии на базе теплового потребления, использования

газопоршневых аппаратов для выработки электроэнергии и теплоты для собственных нужд, строительство мини-ТЭЦ;

4) внедрение регулируемого привода в водоснабжении и водоотведении, в том числе внедрение эффективных электродвигателей и оптимизация систем работы электродвигателей и внедрение частотно-регулируемого привода на электродвигателях водозаборов, насосных и канализационных станций;

5) энергосбережение и повышение энергетической эффективности в системах уличного освещения.

Технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в теплоснабжении, системах коммунальной инфраструктуры и системах наружного освещения позволят достичь суммарной экономии первичной энергии в объёме 51,84 млн т у.т. на I этапе (2011 - 2015 гг.) и 184,18 млн т у.т. за весь срок реализации Программы (2011 - 2020 гг.).

Кроме того, за весь срок реализации Программы предполагается обеспечить:

- снижение удельного расхода топлива на котельных до 167,2 кг у.т./Гкал;

- снижение удельного расхода электроэнергии на котельных до 12 кВт·ч/Гкал;

- наращивание выработки электроэнергии на котельных и мини-ТЭЦ до 57 млрд кВт·ч;

- снижение доли потерь в тепловых сетях до 10,7 %;

- существенное повышение эффективности систем уличного освещения за счет доведения доли энергоэффективных светильников до 99 %.

4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КАК ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В результате бесконтрольной добычи и расточительного использования невозобновляемых энергоресурсов в последние десятилетия человечество приблизилось к глобальному энергетическому кризису. Кроме того, значительно ухудшилась экологическая обстановка: глобальное изменение климата на планете, как следствие парникового эффекта, онкологические заболевания, загрязнение атмосферы вредными выбросами, загрязнение рек, вырубка лесов.

Как уже отмечалось, двигаясь такими темпами, человечество полностью израсходует запасы жидкого и газообразного углеводородного топлива (нефти и газа) в ближайшие 50 лет.

Энергетический кризис в 1970-х гг. явился первой предпосылкой к осознанию экологических проблем и началу разработки крупномасштабных природоохранных проектов. В 1997 г. был подписан Киотский протокол,

согласно которому государства должны ограничить выброс парниковых газов (в первую очередь, CO₂) в атмосферу.

Во многих развитых странах одним из важнейших объектов государственного регулирования стали требования к развитию инновационных энергосберегающих технологий и повышению тепловой эффективности защиты зданий.

Основные задачи и аспекты энергосберегающих технологий:

- экономия государственных энергоресурсов;
- рациональное использование природных ресурсов;
- защита окружающей среды от вредных выбросов;
- освоение и развитие технологий, основанных на использовании возобновляемых источников энергии;
- снижение «парникового эффекта».

На сегодняшний день всё более актуальной становится проблема снижения энергопотребления жилых зданий, что даёт толчок для развития энергосберегающих технологий. На обогрев домов государством тратится до 40 % всех энергоресурсов страны, а в атмосферу в результате выбрасывается огромное количество углекислого газа, что приводит к развитию «парникового эффекта».

Российские дома обладают очень низкой энергоэффективностью, потери энергии огромны. По данным Госстроя, в России расход тепловой энергии (отопление, горячее водоснабжение) составляет 74 кг у.т. на 1 м² в год, что в несколько раз выше, чем в среднем в странах ЕС [6].

Энергозатраты большинства российских предприятий превышают аналогичные показатели в развитых странах примерно в два раза.

В европейских странах энергосберегающие технологии становятся всё более популярными, тогда как в России до последнего времени им не уделяли должного внимания. Одной из основных причин их медленного распространения считается отсутствие заинтересованности собственников жилья, поскольку им не разъясняются в должной мере все способы и средства по модернизации жилища. Государственным аппаратом не проводилось достаточной работы по стимулированию строительства *энергоэффективных зданий*, включая льготы в налогообложении для строительных компаний, занимающихся строительством такого жилья.

5. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОДВИЖЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В результате принятия СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [3] появляется реальная возможность повысить энергоэффективность строящихся зданий. Данные строительные нормы и правила устанавливают требования к уровню теплозащиты зданий с целью экономии энергии. При этом должны соблюдаться санитарно-гигиенические нормы микроклимата

помещений и оптимальные параметры долговечности ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Кроме того, в 2009 г. Государственной Думой был принят Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 261-ФЗ [4] согласно которому все здания, вводимые в эксплуатацию, а также находящиеся в процессе эксплуатации, должны соответствовать требованиям по энергоэффективности и иметь приборы учёта энергоресурсов.

В законе определён комплекс мер по реализации возможности экономии за счёт энергоэффективных товаров и услуг. Так, например, введён запрет на производство и продажу ламп накаливания в 100 Вт и более, с 2013 г. – ламп в 75 Вт, с 2014 г. – ламп в 25 Вт.

Специализированными организациями должен проводиться энергоаудит с целью составления плана мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности. Закон предусматривает долгосрочные методы тарифного регулирования, стимулирующие сокращение затрат на энергоресурсы, повышение энергоэффективности в их использовании. При этом полученная экономия сохраняется у компании и может быть потрачена на любые цели.

Для предприятий и индивидуальных предпринимателей, внедряющих энергосберегающие технологии, предусмотрен механизм бюджетного субсидирования, предоставления налоговых льгот и возмещения процентов по кредитам на реализацию проектов по внедрению инновационных энергосберегающих технологий.

Программа предусматривает экономию:

- природного газа в объёме 330 млрд м³;
- электроэнергии – 630 млрд кВт·ч;
- тепловой энергии – 1550 млн Гкал;
- нефтепродуктов – 17 млн т.

Правительство РФ предпринимает активные шаги по внедрению энергосберегающих технологий. Дело, таким образом, за малым: на местах должны быть осуществлены реализация и контроль над реализацией этих программ.

Повышение энергоэффективности строительного комплекса возможно только путем совместного решения проблем, связанных с обеспечением энергетической эффективности в системах теплоснабжения зданий.

В 1995 г. группой зарубежных специалистов в области повышения эффективности потребления природных ресурсов был введён в обиход так называемый «фактор четыре» – жить в два раза лучше и в то же время тратить в два раза меньше ресурсов [9].

Здания, в которых реализованы принципы "фактора четыре", построены уже по всему миру [11]:

- Скалистые горы США – штаб-квартира Института Рокки Маунтайн (Rocky Mountain Institut);
- Дармштадт (Германия) – «Пассивный дом» (Passivhaus);
- Лестер (Великобритания) – Университет Де Монфор (De Montfort University);
- Амстердам (Голландия) – комплекс штаб-квартиры банка «ING»;
- Франкфурт-на-Майне (Германия) – высотное здание «Коммерцбанк» (Commerzbank);
- Манчестер (США) – демонстрационное энергоэффективное здание;
- Отаниеми (Финляндия) – здание «Эконо–хаус» (EKONO-HOUSE);
- здания типа «Passivhaus» в Австрии, Дании, Германии компании «Сен-Гобен Изовер» (Saint-Gobain Isover);
- «зеленые» здания в США.

Актуальность решения проблемы энергосбережения в строительном комплексе возросла в связи с ростом мировых цен на энергоносители. Если в середине 1990-х гг. цена нефти составляла около \$ 8 за баррель, то к концу 2007 г. подошла к отметке \$ 100 за баррель [9].

Россия, являясь экспортером 20 % природного газа, добываемого во всем мире, и девятой части сырой нефти, играет ключевую роль в энергетической сфере.

Как уже отмечалось, по данным Госстроя, средний расход тепловой энергии на отопление и снабжение горячей водой в России составляет 74 кг у.т. на 1 м² в год, что в несколько раз превышает средние данные по Европе. Например, в странах Скандинавии со сходными климатическими условиями на нужды отопления и горячего водоснабжения тратится не более 18 кг у.т./м² в год [20].

После принятия законодательных актов, направленных на повышение энергетической эффективности, нескольких заседаний Государственного Совета, посвященных этому вопросу, соответствующих постановлений Правительства РФ можно сделать вывод, что Россия присоединилась к самому модному мировому тренду последних десятилетий – экономии энергии [31].

Если действительно серьезно задуматься о снижении энергопотребления в России в целом и в строительной отрасли в частности, необходимо, в первую очередь, оценить опыт стран Западной Европы, США и Японии, которые занялись энергосбережением с начала 1970-х гг. Следует отметить, что после ряда ошибок сегодня и в США, и в Европе (особенно в Германии) накоплен опыт истинной экономии энергии в строительстве и разработано новое законодательство, обеспечивающее приоритет компаниям и гражданам, использующим энергосберегающие технологии и решения.

Если не принимать в расчёт естественных попыток ограничения потребления энергии после Второй мировой войны, первый (далёкий от совершенства) закон, регламентирующий теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий был принят в Великобритании в 1965 г.

Однако серьёзно большинство стран задумалось об энергосбережении только в начале 1970-х гг. в связи мировым энергетическим кризисом.

6. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СТРАТЕГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Современную историю энергосбережения условно можно разбить на 4 этапа: 1973–1991 гг., 1991–2003 гг., 2003–2008 гг. и с 2009 г. по настоящее время. Из этой хронологии очевидно, что основные усилия, направленные на экономию энергии, развитые государства, обделённые в значительной степени природными ресурсами, начинают предпринимать в периоды резкого роста цен на углеводородное сырьё. Эти периоды, в свою очередь, связаны с обострением международной обстановки, как правило, естественно, на Ближнем и Среднем Востоке, т.е. в странах ОПЕК [31].

На *первом этапе* (1973–1991 гг.) В большинстве развитых государств были приняты решения о разработке специальных программ, включающих в себя следующие направления:

- экономия энергии;
- выделение значительных бюджетных средств на проведение научно-исследовательских и конструкторских разработок использования нетрадиционных источников энергии;
- снижение энергопотребления в различных отраслях промышленности;
- разработка законодательных инициатив, обеспечивающих снижение потребления энергетических ресурсов (как выяснилось позже – самое главное направление на данном этапе).

В этот период занимались практически всем: энергией солнца и ветра, тепловыми насосами (энергия Земли), биотопливом, энергией приливов и морских течений и волн, геотермальной энергией, энергией атома и, собственно, технологиями энергосбережения.

К сожалению, большинству работ тех лет были характерны недостаточная эффективность и длительные (иногда запредельные) сроки окупаемости из-за несовершенства материалов и технологий, имевшихся тогда в распоряжении специалистов. И, что самое главное, цены на нефть и другие углеводороды стали очень быстро снижаться. Именно поэтому щедрые поначалу правительственные ассигнования на разработку альтернативных и нетрадиционных энергоресурсов к середине 1980-х гг. были значительно сокращены.

Однако польза от этой «нефтяной встряски» была неоспорима. Фактически было сломано традиционное мышление, основанное на возможности использования исключительно углеводородного топлива, определены наиболее перспективные направления дальнейшего развития. Некоторые исследования продолжились даже после прекращения государственного финансирования – частный бизнес понял долгосрочную

перспективность некоторых инновационных направлений и обеспечивал финансирование многих программ.

И всё же главным успехом первого этапа стали многочисленные разработки законодательств, систем поощрений, субсидий и льгот тем организациям, которые способствовали энергосбережению, и, наоборот, штрафов и других наказаний тем, кто считал это необязательным. Конечно, законодательные акты на этом этапе были несовершенны и в дальнейшем не раз корректировались.

В тот период была разработана целостная идеология экономии энергии, было доказано со всей очевидностью, что для успешного решения проблем энергосбережения необходим комплексный подход – улучшение только какого-нибудь одного элемента не позволит кардинально снизить энергопотребление, а иногда может привести даже к дискредитации самой идеи энергосбережения.

Что касается последнего тезиса, т.е. дискредитации самой идеи, то, к сожалению, можно констатировать, что в этом направлении Россия была (и осталась) впереди планеты всей. Примером может стать массовая кампания по внедрению в нашей стране энергосберегающих источников света. Да, они, без сомнения, эффективнее, чем обычные лампы накаливания, но пока значительно дороже. И, кроме того, никто не удосужился посчитать, как «аукнется» замена ламп – они вносили значительную долю в энергобаланс зданий в зимний период. Да и без развитой системы утилизации вышедших из строя ламп накаливания можно нанести серьёзный ущерб окружающей среде. Однако «постановление» принято – и «галочка» должна быть поставлена...

Важным стало и создание крупных исследовательских центров в Европе и США, в состав которых вошли динамичные и мобильные команды специалистов, определившие значительные успехи энергосбережения в последующие годы. В частности, в составе знаменитой Национальной лаборатории министерства энергетики США (Lawrence Berkeley National Laboratory – LBNL) был организован отдел по энергосбережению в строительстве, который и стал одним из «законодателей мод» в этой отрасли. Кстати, организовал его Артур Розенфельд (Arthur Rosenfeld), который в 2011 г. был удостоен учреждённой в России Международной премии «Глобальная энергия», являющейся своеобразной Нобелевской премией по энергетике. *Международная энергетическая Премия «Глобальная энергия» – это независимая награда за выдающиеся научные исследования и научно-технические разработки в области энергетики, которые содействуют повышению эффективности и экологической безопасности источников энергии на Земле в интересах всего человечества.*

Именно LBNL в тесном контакте с европейскими специалистами разработала в 1970-х–1980-х гг. технологию промышленного производства магнетронного нанесения *теплоотражающих покрытий* на большеформатные листовые стёкла, что стало реальным прорывом в оконной

отрасли. Позднее, в 1990-е гг., теплоотражающие покрытия станут основным и необходимым элементом энергосберегающих светопрозрачных конструкций.

Также одним из определяющих способов снижения энергетических затрат в зданиях стала инициатива правительств скандинавских стран, которые за счёт государства (!!!) заменили старые неэффективные окна на новые *стеклопакеты*.

Второй этап (1991–2003 гг.) был отмечен значительно более интересными результатами с точки зрения внедрения новых прогрессивных энергосберегающих технологий.

Именно этот период можно охарактеризовать следующими достижениями:

- широкое использование тепловых насосов;
- ветровые генераторы оказались совершенно обыденным делом в Европе, Японии, Китае и США;
- появились современные конкурентоспособные солнечные панели и конвекторы;
- в развитых странах серьёзно взялись за строительство энергоэффективных зданий (так называемых «пассивных» домов и домов с нулевым потреблением энергии);
- впервые массово начали заниматься санацией зданий старой постройки для доведения их до современных требований по энергосбережению.

С возникновением очередного энергетического кризиса практически мгновенно в США появился первый в истории комплексный документ – «Energy Policy Act of 1992» [53], определивший основные проблемы в энергосбережении и направления их решения. Конечно, очевидно, что такой объёмный документ (несколько сотен страниц) не мог быть разработан в течение нескольких месяцев после того, как он действительно понадобился. По всей видимости, он разрабатывался ведущими специалистами Министерства энергетики США ещё с середины 1980-х гг., и по счастливой случайности в этом документе возникла срочная необходимость именно тогда, когда он был практически готов.

«Energy Policy Act of 1992» стал определяющим для развития новых технологий в области энергосбережения и использования альтернативных и нетрадиционных возобновляемых источников энергии более чем на 10 лет.

Отметим лишь некоторые его моменты:

- на обеспечение энергосбережения и значительное снижение энергопотребления Конгрессом США выделены колоссальные средства (миллиарды долларов), включая средства на публичное продвижение программы энергосбережения и разъяснение её целей потребителям; впервые на законодательном уровне сделан упор на создание действенной системы субсидий и льгот для потребителей, выполняющих требования по энергосбережению;

- внедрена программа перспективных стандартов и других нормативов, направленных на экономию энергии во всех отраслях, включая строительство и производство строительных материалов, основанная на так называемых «стандартах производительности», т. е. ориентированных на конечный результат – экономию энергии;

- определены первоочередные задачи и цели, обеспечение которых было подготовлено в 1980-е гг., в частности: замена традиционных ламп накаливания энергосберегающими, замена традиционных окон светопрозрачными конструкциями со стеклопакетами с теплоотражающими стеклами;

- внедрены маркировки энергосберегающей продукции, указывающие потребителю её технические характеристики и ожидаемый уровень экономии энергии;

- создан ряд ассоциаций, которые должны были стать проводниками государственной политики энергосбережения и создавать новые методы оценки энергосберегающих материалов и конструкций, в том числе National Fenestration Rating Council (Национальный Совет по оценке светопрозрачных конструкций);

- обозначены цели по проектированию и строительству (с дальнейшим полномасштабным мониторингом результатов) пилотных проектов энергоэффективных зданий различного назначения в разных климатических регионах страны;

- выделены средства на создание компьютерных методов оценки характеристик и энергоэффективности различных конструкций.

Любопытные метаморфозы происходили в Германии. *Следует отметить, что крах Берлинской стены и объединение Германии в 1990 г. ввели жителей Восточной Германии в эйфорию. В Дрездене, к примеру, на вокзальной площади был публично сожжён Трабант – символ «отсталой автомобильной промышленности ГДР». После «валютного объединения» восточные немцы получили доступ к западным товарам, в том числе и к автомобилям, чем они и воспользовались. Если раньше студенты Дрезденского технического университета ездили, преимущественно, на велосипедах, то теперь они пересели на Ауди, Опель и прочие авто. Однако довольно быстро, в течение двух-трёх лет, эйфория прошла: оказывается, нужен бензин, ремонт и т.д. Жизнь сама, таким образом, поставила всё на свои места, и люди вспомнили о временно забытом глаголе «sparen» (экономить).*

Так вот, через несколько лет после выхода американского законопроекта в программе энергосбережения сделан следующий важный шаг – на этот раз в Германии. Помимо тех же задач, которые были сформулированы в США в «Energy Policy Act of 1992», у немецких властей возникла иная проблема, требующая быстрого решения. При объединении Германии в 1990 г. в структуру жилищно-коммунального комплекса страны влилось множество зданий в восточной части страны (ГДР), которые были

построены по советским проектам (мы их называем «хрущёвки»). Проведенный в начале 1990-х гг. комплексный мониторинг старых зданий показал, что средний расход энергии на отопление, горячее водоснабжение, освещение и другие бытовые нужды в старых зданиях составил около $280 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год, из них только на отопление расходовалось не менее $220 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. В условиях достаточно мягкого климата в Германии и постоянного роста стоимости энергоносителей это было признано совершенно недопустимым. Тем более что к началу 1990-х гг. уже появился опыт строительства *энергоэффективных зданий* с использованием *альтернативных возобновляемых источников энергии*.

Жителям Восточной Германии Федеральное правительство пообещало в кратчайшее время обеспечить уровень жизни, присущий стандартам ФРГ. Для обеспечения комфортных условий жизни и снижения размера коммунальных платежей на отопление и электроэнергию существовало два возможных пути: либо снести все эти здания, либо привести их в «божеский вид». Однако был предпринят другой подход, который в дальнейшем переняли многие развитые страны.

Федеральным законом 1995 г. было установлено, что новые здания должны строиться с удельным расходом энергии на отопление не выше $100 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год, при этом остальные энергозатраты были ограничены на уровне $60 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год [52]. Для существующих зданий был определен период в 7 лет, в течение которого они должны быть либо доведены до установленного уровня энергозатрат, либо снесены в случае невозможности или нецелесообразности их реконструкции. В том случае, если собственник по истечении 7 лет не выполнит установленные законом нормативы, для него наступали «черные дни» – увеличение коммунальных платежей в несколько раз, огромные штрафы, увеличение обязательной страховки имущества, снижение залоговой стоимости и многое другое, что превращало владение таким «проштрафившимся» зданием в дело, финансово очень обременительное и бесперспективное.

История, как известно, учит, что «кнут» и «пряник» необходимо применять совместно – раздельно они практически не работают. Именно поэтому в указанном федеральном законе был предусмотрен ряд поощрений («пряников»):

- финансовые (очень небольшие) вливания со стороны государства;
- налоговые (очень значительные) льготы собственникам;
- федеральные субсидии на использование современных энергосберегающих материалов и технологий;
- другие, не только материальные, но и моральные, или имиджевые, поощрения.

Это позволило многим специалистам, придерживающимся постулатам этого закона и пресловутому *Deutsche Ordnung* (*немецкий порядок*), спроектировать и построить действительно энергоэффективные дома за не очень большие деньги.

Несмотря на то, что цены на традиционное углеводородное топливо стали быстро падать (как и во время первого энергетического кризиса), усилия мирового сообщества по созданию энергетики, в меньшей степени, чем прежде, зависимой от углеводородов, не прекратились, а только активизировались и консолидировались. Этим, вероятно, и отличается современная Россия от Европы и США: немцы и американцы (и японцы, естественно) предпочитают «не наступать второй раз на те же грабли, если уже однажды набили шишку на лбу» [31].

Именно на втором этапе современной истории энергосбережения (1991–2003 гг.) было начато большинство проектов по строительству «пассивных» домов и целых посёлков, и окончательно сформировалось понимание необходимости комплексной оценки зданий и эффективности энергосберегающих технологий.

Например, во Франции при проектировании зданий в соответствии со стандартом RT 2000 «Индивидуальные дома без систем кондиционирования воздуха» необходимо набрать 20 условных баллов по следующим 5 разделам [17]:

- теплоизоляция перекрытий, стен и кровли (от 2 до 5 баллов);
- наличие тепловых мостиков в конструкции здания (от 0 до 4 баллов);
- тип оконных конструкций (от 1 до 3 баллов);
- системы вентиляции (от 1 до 4 баллов);
- системы отопления и горячего водоснабжения (от 1 до 6 баллов).

Дополнительно учитываются также местоположение и ориентация здания. В случае, если в сумме по применяемым инженерным и строительным решениям набираются искомые 20 баллов, проект признается удовлетворяющим требованиям по удельному расходу энергии на 1 м² в год. В противном случае он не будет утвержден.

В указанном документе все требования представлены достаточно наглядно и обеспечивают выполнение основного требования – использование эффективных конструкций с гарантированным выполнением требований по экономии энергии. То есть, хочешь, например, применять дорогие и очень энергоэффективные окна, можешь сэкономить на теплоизоляции перекрытий. Или наоборот. Подобный подход к проектированию энергоэффективных зданий не только для Европы, но и для России представляется совершенно справедливым и грамотным. Самое главное, что это позволяет снизить «коррупционную составляющую» не на словах, а на деле, поскольку производитель не обязан «зацикливаться» на каких-то конкретных материалах и технологиях, которые ему навязываются чиновниками «сверху».

Подобные документы разработаны и успешно применяются во многих развитых странах, что реально помогло в истинном становлении энергосберегающего (а в дальнейшем – и «зеленого») строительства.

В оконной отрасли на этом этапе можно отметить следующие положительные сдвиги:

- практически во всех развитых странах, за исключением государств с жарким климатом (Испании, Италии, Португалии), окна из ПВХ профиля (ПВХ – поливинилхлорид) со стеклопакетами стали преобладающей на рынке продукцией;

- стало возможным и экономически оправданным оборудовать фасадные конструкции высотных зданий *светопрозрачными панелями с энергосберегающим стеклом*;

- стали активно развиваться проекты зданий с максимальным использованием *естественного освещения и активной солнцезащиты*, что позволило значительно снизить нагрузки на системы отопления и кондиционирования воздуха;

- фасадные конструкции зданий всё чаще стали совмещаться с *солнечными элементами* для выработки дополнительной энергии, используемой для внутреннего (а иногда и внешнего) электроснабжения;

- практически решены проблемы вентиляции помещений, которые возникали в зданиях при их оборудовании современными, как правило, герметичными окнами.

Ещё в конце XX в. во многих не только развитых, но и развивающихся странах использование нетрадиционных источников энергии (тепловых насосов, ветровых генераторов, солнечных коллекторов или батарей и пр.) стало совершенно обыденным делом в массовом строительстве энергосберегающих зданий. К сожалению, в России они до сих пор не могут конкурировать с традиционными энергоносителями и всё ещё считаются какой-то экзотикой, хотя вполне могут и должны стать необходимым элементом и своеобразным «локомотивом» отечественного строительства.

На *третьем этапе* (2003–2008 гг.), который, помимо очередного роста цен на нефть, отмечен повышенным вниманием к процессам глобального потепления, появились значительные успехи в разработке и внедрении в массовое производство новых инновационных материалов и технологий, позволяющих более эффективно использовать возобновляемые источники энергии.

Когда и чем закончится *четвёртый этап* в развитии энергосберегающих технологий? На это вопрос пока трудно дать вразумительный и аргументированный ответ. Однако очевидно, что при сохранении и увеличении современного уровня потребления традиционных ископаемых энергоносителей (нефть, природный газ, уголь) планета Земля «протянет» ещё лет 30-50. А дальше? Будущее зависит от нас...

7. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Каковы масштабы практического использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире? Имеющиеся данные позволяют утверждать, что в мире наблюдается бум возобновляемой энергетики.

В 2012 г. суммарная установленная мощность энергоустановок на новых видах ВИЭ (без учёта ГЭС) достигла 480 ГВт и почти в полтора раза превысила суммарную мощность действующих в 32 странах мира 439 ядерных энергетических реакторов, равную 340 ГВт.

К началу 2013 г. 138 стран мира сформулировали целевые индикаторы по развитию ВИЭ на период до 2020 г. и на более дальнюю перспективу. В большинстве случаев в течение ближайших 10 лет планируется достичь вклада ВИЭ в энергобалансы на уровне от 10 до 30 %. Наиболее амбициозные целевые индикаторы приняты в Европейском Союзе [40].

Лидером в использовании ВИЭ (в абсолютном исчислении) является США. По прогнозам специалистов, через 30 лет на территории США не будет ни одного автомобиля, использующего в качестве топлива продукты перегонки нефти (бензин, дизельное топливо и т.п.).

На реализацию новой Энергетической Программы выделено более \$ 80 млрд, при этом предусматриваются следующие мероприятия:

- сокращение выбросов в атмосферу вредных веществ, в том числе парниковых газов;
- развитие биоэнергетики и производство различных видов биотоплива;
- поддержка и субсидирование энергосберегающих мероприятий;
- создание энергоэффективных домов;
- скидки для потребителей энергосберегающего оборудования;
- налоговые льготы для предприятий и домовладельцев, которые реализовали энергосберегающие мероприятия;
- увеличение доли ВИЭ к 2015 г. до 25 % [7].

Государство стимулирует создание и применение альтернативных видов топлива. К 2015 г. должно быть произведено более 1 млн гибридных автомобилей.

В табл. 1 представлены интегральные показатели развития возобновляемой энергетики в мире в период с 2010 по 2012 г.

Во всем мире в последнее время альтернативная энергетика бурно развивается – рост составляет 20–30 % в год. Использование возобновляемых источников увеличивается не только в странах Европы и США. Например, Китай в 2010 г. по сравнению с 2009 г. увеличил потребление возобновляемой энергии на 74,5 %, Турция – на 88,1 %, Египет – на 35 % [35].

В большинстве промышленно развитых стран мира существуют национальные программы развития нетрадиционной энергетики, предусматривающие значительное расширение доли использования ВИЭ в суммарном энергобалансе. Мировым лидером по доле электроэнергии, выработанной с помощью ВИЭ, является Дания, где на них базируется почти 30 % энергетики.

Показатели развития ВИЭ в мире

Показатели	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Инвестиции в развитие ВИЭ, \$ млрд	227	244	279
Мощность энергоустановок на ВИЭ (без ГЭС), ГВт	315	395	480
Мощность энергоустановок на ВИЭ (с учётом ГЭС), ГВт	1250	1355	1470
Производство энергии на биоэнергетических установках, ГВт·ч	313	335	350
Мощность фотоэлектрических энергоустановок, ГВт	40	71	100
Мощность солнечных тепловых электростанций (с концентраторами), ГВт	1,1	1,6	2,5
Тепловая мощность водонагревателей, ГВт	195	223	255
Мощность ветроустановок, ГВт	198	238	283
Производство биоэтанола, млрд л/год	85	84,2	83,1
Производство биодизеля, млрд л/год	18,5	22,4	22,5
Количество стран, принявших долгосрочные программы развития	109	118	138

Наибольшее развитие и распространение находят установки, использующие энергию солнца, ветра и биомассы. В Израиле, например, в соответствии с законом, каждый дом должен быть снабжён солнечной водонагревательной установкой, которые, в результате, обеспечивают около 70 % потребности в горячей воде.

В Германии Правительственная программа «1000 крыш» по использованию фотоэлектрических установок (ФЭУ) для частного сектора, непосредственно преобразующих солнечную радиацию в электроэнергию, была расширена до 2500 крыш, при этом правительство субсидировало 70 % стоимости установки фотоэлектрических систем мощностью по 1-5 кВт, рассчитанных на 1-2 семьи. Германия считается одним из мировых лидеров политики энергосбережения и энергоэффективности. Средний темп снижения энергоёмкости ВВП составляет 1,5 % в год, а в перспективе стоит задача повышать ежегодно энергоэффективность экономики на 3 %.

В последние годы повысился интерес к ФЭУ в Японии (которая вынуждена импортировать около 80 % топливно-энергетических ресурсов), где в префектуре Окинава строится ФЭУ мощностью 750 кВт.

В США 90 энергетических компаний образовали Фотоэлектрическую группу, которая на протяжении 5 лет планирует ввести в эксплуатацию ФЭУ общей мощностью 47 МВт, из которых 17 МВт приходится на малые автономные установки и 30 МВт – на крупные (от 100 кВт до 1 МВт).

Турецкий курорт Анталия полностью отапливается за счёт ресурсов солнца, правда, светит оно там 300 дней в году.

На сегодня более 30 стран мира используют процесс прямого преобразования солнечной энергии в электрическую. Суммарная мощность

произведенных за год фотоэлектрических преобразователей составляет около 65 МВт, из них по 1/3 в США и Японии, 20 % – в Европе [41].

Бурно развивается ветроэнергетика: в конце 2012 г. общая установленная мощность всех ветрогенераторов составила 283 ГВт, а количество электрической энергии, произведённой ими, составило 620 ТВт·ч (более 3 % от мировой выработки электроэнергии). В Дании в 2011 г. около 28 % вырабатываемой энергии приходилось на ветроэнергетические установки (ВЭУ), в Португалии – 19 %, в Ирландии – 14 %, в Испании – 16 %, в Германии – 8 %. В мае 2009 г. 80 стран мира использовали ветроэнергетику на коммерческой основе.

В последнее время повысилось внимание к использованию биомассы в энергетических целях. Это вызвано тем, что использование растительной биомассы при условии её непрерывного восстановления (новые лесные посадки после вырубki леса) не приводит к увеличению концентрации парниковых газов в атмосфере.

Швеция активно пропагандирует и внедряет биоэнергетику. Основным сырьем для этого являются отходы деревообработки и целлюлозно-бумажной промышленности. В настоящее время доля биоэнергетики в общем энергобалансе страны составляет 20 %, причем властями активно используются экономические стимулы внедрения ВИЭ. Широко применяются биоустановки для получения биогаза из отходов продуктов питания и переработки сельскохозяйственной продукции. Обогрев и охлаждение помещений выполняется за счет использования потенциала земли и воды с помощью тепловых насосов мощностью 25–40 кВт.

Россия на общем фоне выглядит более чем скромно. В стране на альтернативные источники приходится менее 1 % от общего объёма генерации, и этот показатель не растёт, несмотря на призывы президента страны к 2020 г. увеличить долю альтернативной энергетики до 4,5 % [35].

Территория Российской Федерации составляет свыше 11 % суши земного шара, при этом Россия обладает самой большой в мире протяженностью береговой линии. Ресурсы ВИЭ (энергии солнца, ветра, приливов, геотермальной энергии) пропорциональны размеру территории страны.

Российская Федерация обладает 46 % нетропических лесов планеты (ежегодный прирост свыше 1 млрд м³), 47 % разведанных запасов торфа (ежегодный прирост 20-30 млн т).

Технически доступные геотермальные ресурсы – 115 млн т у.т. в год, технический потенциал ресурсов энергии рек составляет 382 млрд кВт·ч в год.

Кроме того, в России ежегодно образуется свыше 390 млн т органических отходов, в том числе 250 млн т отходов сельскохозяйственного производства, 60 млн т твердых бытовых отходов городов, 10 млн т коммунальных стоков и 70 млн т отходов деревообработки.

Конечно, у альтернативной энергетики есть и свои минусы. Существует мнение, что солнечные модули при массовом использовании способны затемнить значительную часть суши, а производство биотоплива – истощить земли. Аналитики также отмечают непостоянство возобновляемых источников во времени и проблему с аккумулярованием энергии.

Другой аргумент – высокие капитальные затраты на подобные технологии. Например, строительство ветрогенераторов и солнечных панелей существенно дороже обычных электростанций, а инвестиции в нетрадиционную энергетику окупаются вполне традиционным способом – за счет конечного потребителя. В результате, альтернативная энергетика остаётся «забавой» для богатых, но обделённых природными ресурсами регионов. Для России же, богатой полезными ископаемыми, более актуальными могли бы быть вопросы газификации и строительства инфраструктуры.

С точки зрения макроэкономических показателей, Россия, казалось бы, с избытком обеспечена традиционными энергоресурсами.

На выработку тепловой энергии расходуется около 30 % топливно-энергетических ресурсов России, что в полтора раза превышает затраты на выработку электроэнергии. Основным потребителем тепловой энергии являются жилые здания, на отопление которых расходуется около 45 % всей вырабатываемой в России тепловой энергии.

Структура выработки тепловой энергии в нашей стране выглядит следующим образом (2007 г.):

- крупные ТЭС – 34 %;
- централизованные котельные – 37 %;
- децентрализованные котельные – 29 %.

Общий фонд жилых зданий в России (по данным 2007 г.) составляет 2878 млн м², население 141,9 млн чел. Таким образом, на одного человека приходится около 20 м² [9].

Анализ энергобаланса показывает, что из всех добываемых в стране энергоресурсов около 2/3 экспортируется за рубеж. Что касается нефти, то сегодня 80 % всей добываемой в стране нефти экспортируется. Энергетическая стратегия России на текущее десятилетие фактически предусматривает лишь незначительное относительное снижение экспорта энергоресурсов. Экспортная ориентация во многом обусловлена тем, что нефтегазовый комплекс страны обеспечивает около 17 % российского ВВП и более 40 % доходов консолидированного бюджета, и отказаться от таких доходов крайне сложно [10]. Возникает, однако, вопрос: насколько такая политика дальновидна и стратегически обоснована? Ведь энергетика, построенная на основе ископаемого углеводородного топлива, рано или поздно может столкнуться с исчерпаемостью этих ресурсов. И, судя по всему, перспектива эта не за горами.

Потенциал энерго- и ресурсосбережения в России огромен. Мировой опыт показывает, что имеется реальная возможность сокращения

энергопотребления в 2 раза. Однако для достижения такого результата нужны длительные совместные усилия специалистов в различных областях.

8. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

8.1. Опыт энергосбережения в развитых странах

В большинстве развитых стран проводятся активные экономические и социальные мероприятия по энергосбережению в строительной индустрии.

Граждане США, проживающие в энергетически неэффективных домах, с недостаточно хорошей теплоизоляцией, имеют право рассчитывать на государственную поддержку в лице Министерства энергетики США в оценке энергоэффективности жилья и предоставлении услуг по дальнейшему его утеплению. На данный момент эта программа охватила более 5 млн семей.

Программа повышения энергоэффективности жилья позволит владельцам домов снизить счета за коммунальные услуги на 20 % и внесет существенный вклад в улучшение экологической обстановки. Программа подразумевает 10%-ю налоговую скидку от стоимости изоляционных работ, установки окон, отвечающих новым требованиям, что позволит среднестатистической американской семье сэкономить до \$ 1500.

Кроме того, налогоплательщики, занимающиеся повышением энергоэффективности жилья, могут рассчитывать на льготы в уплате подоходного налога.

На протяжении многих лет в Европе используют энергосберегающие технологии при строительстве и реконструкции зданий. В развитых странах созданы необходимые законодательные нормы с учётом экономических интересов собственников жилья и инвесторов.

Усовершенствование жилья включает следующие аспекты:

- применение эффективной теплоизоляции;
- установка двойных оконных рам;
- установка двойных дверей;
- окно в крыше;
- энергоэффективная система климат-контроля;
- теплоотражательная кровля;
- энергоэффективные нагреватели воды и воздуха (тепловые насосы, солнечные водоподогреватели, фотогальванические энергосистемы).

В Германии на реконструкцию домов с целью понижения энергопотребления потрачено более € 1,5 млрд [51]. Более того, владельцам жилья, желающим провести реконструкцию дома с целью повышения его энергоэффективности, предоставляются налоговые льготы в размере 20 % и банковские кредиты с низкой процентной ставкой. Германия, являясь зависимой от поставок энергоносителей другими странами, решает проблему энергетической безопасности путем энергосбережения и стимулирования развития альтернативных ВИЭ, в основном энергии ветра и солнца. При

необходимости покупки компьютеров и электроприборов административные учреждения обязаны приобретать энергоэкономные приборы.

В Австрии активно внедряются установки по производству биогаза. Биогаз, вырабатываемый из древесины, по качеству не уступает природному газу, его используют для отопления электростанций, для автомобилей, работающих на смешанном топливе. Биогазовые установки способны вырабатывать около 100 м³ биогаза в час [51]. В настоящее время подобные проекты внедряются и в других странах, в частности в Германии и Швеции.

Во Франции в 2005 г. для семей, желающих использовать технологии экономии термической энергии в собственном жилище, ввели в действие программу налоговых льгот. При модернизации жилья им предоставляется кредит, право на возмещение до 50 % расходов по установке систем терморегуляции, модернизации отопления и использования альтернативных источников энергии: биотоплива, энергия солнца и ветра [51].

В Японии энергосберегающая политика проводится с 1973 г. Предпринимаются меры по снижению энергоёмкости домов, усовершенствованию конструкций зданий для снижения затрат на отопление и кондиционирование. Большое внимание уделяется сохранению энергии в быту: частичный отказ от телевизионных пультов, от ночного подогревания воды для экономии времени на приготовление завтрака утром, временное отключение кондиционеров летом. Проведенный на 200 семьях эксперимент дал экономию энергии в 14 %. Особое внимание уделяется развитию гелиоэнергетики. Установка солнечных батарей позволяет значительно снизить расходы на электроэнергию и на треть оплачивается правительством. Площадь крыши жилого дома в среднем составляет 120 м². Даже если половина крыши будет покрыта батареями, они дадут 6 тыс. кВт·ч энергии в год, что позволит сэкономить более 500 л нефти [51].

В Швеции в последние десятилетия удалось существенно снизить зависимость от ископаемого топлива. Если в 1970 г. 80 % энергии вырабатывалось из ископаемого органического топлива, то в 2009 г. этот показатель снизился до 37 %, а доля биотоплива в топливно-энергетическом балансе составила 32 %. Широкое применение получили тепловые насосы, использующие потенциал воды, атмосферы и Земли. Они весьма эффективны и снижают вредное воздействие на окружающую среду. В настоящее время в Швеции насчитывается более 500 тыс. тепловых насосов [51].

8.2. Тепловые потери зданий

В наше время, когда ископаемого топлива на Земле остаётся всё меньше, остро встаёт проблема энергосбережения. Одной из статей расхода топлива являются ресурсы на обогрев жилых строений, которые можно сэкономить, снижая теплопотери сооружений.

Жителям домов, многоквартирных и, в особенности, частных, отдельностоящих, приходится каждый месяц выкладывать довольно круглые суммы: зимой на отопление, а летом на охлаждение и вентиляцию.

Если говорить о традиционных способах энергосбережения, под которыми понимается реализация технических и научных мер, направленных на рациональное использование и экономное расходование топливно-энергетических ресурсов, то первым шагом является снижение тепловых потерь ограждающих конструкций различного рода зданий и сооружений.

Чтобы понять, какие ресурсосберегающие мероприятия в области архитектурно-строительных решений окажутся наиболее эффективными, необходимо провести качественный анализ потерь тепла через ограждающие конструкции зданий.

Многочисленными исследованиями и расчётами установлены составляющие теплопотерь через различные элементы зданий, представленные на рис. 2 [24].



Рис. 2. Потеря тепла в доме, возведенном по традиционной технологии и из традиционных строительных материалов

Развитие энергосберегающих построек восходит к исторической культуре северных народов, которые стремились построить свои дома таким образом, чтобы они эффективно сохраняли тепло и потребляли меньше ресурсов. Классическим примером техники повышения энергосбережения дома является *русская печь*, отличающаяся толстыми стенками, хорошо сохраняющими тепло, и оснащённая дымоходом со сложной конструкцией лабиринтов [24].

Решить вопрос с потерями тепла можно следующим образом:

– обеспечить высокую тепловую защиту здания или сооружения с помощью использования эффективных теплоизоляционных строительных материалов;

– установить отопительные приборы с высоким коэффициентом теплопередачи.

Основной путь снижения энергозатрат лежит в повышении термического сопротивления ограждающих конструкций с помощью теплоизоляционных материалов. Особенностью теплоизоляционных материалов является их высокая пористость и низкая теплопроводность. Благодаря изоляции значительно повышаются надежность, долговечность и эффективность эксплуатации зданий и сооружений.

Основные функции тепловой изоляции:

– создание комфортных условий для проживания людей в жилых домах;

– снижение тепловых потерь в окружающую среду.

Эффективным способом сокращения потребности в энергии является выбор той или иной системы микроклимата (вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха).

Ухудшение экологической обстановки является побуждающим стимулом к превращению жилых домов в экологически чистое жильё, отличающееся дополнительной теплоизоляцией стен, окон, дверей, крыши с использованием инновационных материалов и технологий, установкой солнечных батарей и других альтернативных источников энергии (рис. 3).

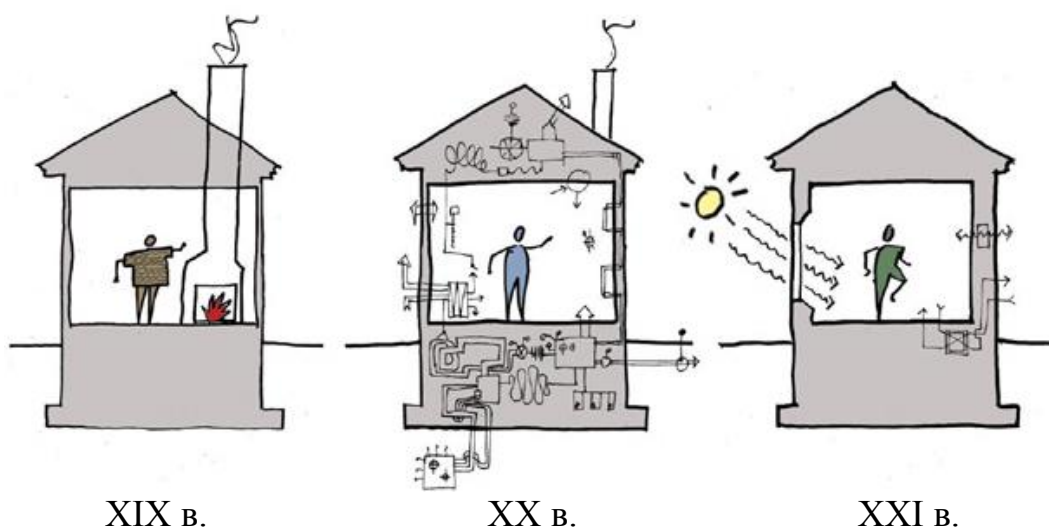


Рис. 3. Эволюция жилого дома в XIX–XXI вв.

Специалисты разных стран с начала 1970-х годов работали над проблемой энергосбережения зданий. Разработки велись в разных направлениях: разрабатывались варианты оптимальной формы дома, его

установки относительно рельефа и сторон света, теплосберегающих ограждающих конструкций и систем вентиляции.

Таким образом, началось строительство *энергоэффективных домов* разного уровня сбережения энергии и даже её положительного баланса. Критерием градации энергосберегающих домов стало количество получаемой и потребляемой ими энергии.

8.3. Классификация энергоэффективных домов

Энергосберегающий, пассивный дом, или экодом – строение, отличительной чертой которого является отсутствие необходимости отопления или очень малое потребление энергии – до 10 % от количества, которое потребляется большинством современных зданий.

Домом *нулевого* потребления энергии (*нулевой дом*) называется сооружение, которое вырабатывает (и аккумулирует) энергии столько же или больше, чем ему требуется для собственного тепло- и энергоснабжения. При этом используются как ископаемые топлива, так и ВИЭ (солнечные панели, ВЭУ, тепловые насосы, биотопливо и т.д.).

Активным домом называют дом, имеющий положительный энергобаланс. Это удается за счёт объединения технологий *пассивного* дома и *умного* дома. Последняя заключается в следующем: автоматизированная контролирующая система обеспечивает комфорт, безопасность жильцов и ресурсосбережение сооружения. Автоматика учитывает погодные условия, время года и суток, принципы работы всех систем жизнеобеспечения, сиюминутную необходимость и программирует работу всех систем в оптимальном режиме.

Но если для работы активного дома и дома нулевого энергопотребления нужны дополнительные механизмы, вырабатывающие и распределяющие энергию, то пассивный дом не нуждается ни в чём, кроме собственных конструкций, возведённых по определенной технологии.

Энергосберегающее строительство – это использование самых современных технологий и материалов, обеспечивающих достижение высокого теплового комфорта и строительство дома с низким потреблением энергии и, следовательно, низкими эксплуатационными расходами. Такой эффект может быть достигнут за счёт снижения потребления электроэнергии и энергии, необходимой для отопления дома и подогрева воды. В нашем климате наиболее важной задачей является сокращение потерь тепла. По сравнению с традиционными домами в пассивном здании потери тепла значительно снижаются.

Основная цель в энергосберегающем и пассивном строительстве заключается в стремлении достигнуть максимально возможный тепловой комфорт при максимальном снижении тепловых потерь. Минимальный расход тепла уменьшает затраты на использование дома и хорошо сказывается на рыночной стоимости дома.

Технические решения для минимизации тепловых потерь достаточно хорошо изучены и используются на протяжении многих лет на практике.

Наиболее важными из них являются:

- термоизоляция стандартных внешних ограждений – стены, крыша, окна, двери;
- тщательное ограничение появления мостиков холода;
- герметизация внешней оболочки здания;
- использование энергосберегающих окон и дверей, специально разработанных для пассивных домов;
- использование высокоэффективной системы вентиляции с рекуперацией тепла.

Активные и пассивные дома – это два разных подхода в энергосберегающем строительстве.

Ну а дома, которые стремятся к параметрам пассивных, но достичь их не могут, вынуждены довольствоваться более скромным званием *энергоэффективных* [28].

Интерес к энергоэффективным зданиям в России вырос после принятия закона об энергосбережении, но эксперименты в этой области проводились и раньше.

В Москве, в микрорайоне Никулино-2, впервые была построена теплонасосная система горячего водоснабжения многоэтажного жилого дома. Этот проект был реализован в 1998-2002 гг. Министерством обороны РФ совместно с Правительством Москвы, Минпромнауки России, Ассоциацией "НП АВОК" и ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» в рамках «Долгосрочной программы энергосбережения в г. Москве». Проект выполнен под научным руководством доктора технических наук, член-корреспондента РААСН Ю.А.Табунщикова.

В этом доме за отопительный сезон приходится тратить всего по 85 кВт·ч энергии на каждый квадратный метр площади – почти вдвое меньше норматива и примерно втрое меньше реальных потребностей старых кирпичных зданий.

Но до стандартов пассивного дома там далеко. Общие требования к ним сформулированы в так называемом «Пакете проектирования пассивного дома» (Passivhausprojekte), разработанным в Германии [25]. Главное условие: годовой расход энергии на отопление не должен превышать 15 кВт·ч на квадратный метр полезной площади. А если считать вместе с электроприборами, кухонной плитой, горячей водой и инженерными системами, то пассивный дом должен тратить не более 120 кВт·ч/м² в год.

Кроме собственно теплопотерь, имеется еще целый набор необходимых требований: термоизоляция стен и окон, специальная конструкция окон и системы горячего теплоснабжения, практически полная герметичность здания и наличие принудительной вентиляции с рекуперацией тепла. То есть приточный и вытяжной вентиляционный каналы должны проходить через специальный рекуператор, где часть тепла отработанного

нагретого воздуха передается свежему холодному воздуха. Учитывая тот факт, что только на вентиляции обычное здание в среднем теряет $35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год (т.е. в два раза больше, чем вообще положено пассивному дому), это совершенно необходимое условие.

Впрочем, все эти расчеты проводились для Германии, где погода отнюдь не российская. Такие дома – изначально немецкое изобретение, первый из них был построен в городе Дармштадт в 1991 г. Сейчас таких зданий уже тысячи, в самых разных городах Германии. Германский банк развития KfW даже выдает под строительство пассивных домов льготные кредиты.

Компания «Мосстрой-31» в содружестве с немецкими специалистами и архитекторами из института Passivhaus построила в Бутово двухэтажный дом, который первым в России сертифицирован по европейским стандартам.

Ещё один претендент на первенство в области российского пассивного домостроения – петербургская строительная компания «Пассив Хаус». На её счету около 80 коттеджей в Ленобласти. Правда, ни один из них до сих пор не сертифицирован по стандартам пассивного дома, поскольку затраты на отопление составляют $57,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год – почти вчетверо выше немецкого стандарта. Однако общее годовое энергопотребление коттеджей составляет $90,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, что соответствует требованиям Института пассивного дома – $120 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год.

С активными домами ввиду отсутствия четких требований по теплопотерям спорных ситуаций не возникает. Жесткого стандарта тут вообще нет. Например, в доме «Зеленый маяк», офисном здании для студентов и преподавателей Копенгагенского университета, потребность в отоплении только на 35 % покрывается за счёт солнечных коллекторов и теплового насоса. Остальные 65 % тепла приходятся на центральное отопление. Суммарные энергозатраты составляют $30 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. При этом никто не сомневается, что «Зеленый маяк» – активный дом [19].

Там, где активный дом проигрывает пассивному в части сохранения тепла, он отыгрывается за счёт выработки электричества. Тот же «Зеленый маяк» благодаря удачно размещенным окнам и солнечным батареям площадью 76 м^2 полностью обеспечивает свои потребности в освещении и питании всех инженерных систем дома.

Кроме солнечных батарей, активные дома берут на вооружение еще несколько «зеленых» технологий. Это и светодиодное освещение, и солнечные коллекторы для нагрева воды, и тепловые насосы, и вентиляция с рекуператором. Идеал для активного дома – нулевой энергобаланс. Естественно, построить такое здание, которое даже пасмурным зимним днём сможет полностью обеспечить себя электричеством и теплом за счёт солнца или других альтернативных возобновляемых источников энергии, практически нереально. Поэтому активные дома пасмурными зимними днями берут энергию из сети, зато в летнюю жару продают обратно в сеть излишки электричества.

Так, например, ещё один датский проект, «Дом для жизни», не только компенсирует свои энергозатраты за счёт солнечных батарей площадью 50 м², но и дополнительно продаёт в сеть больше 1,7 тыс. кВт·ч в год.

Пока что единственный действительно северный нулевой дом построен в Финляндии студентами Университета Аалто (Aalto University). Это одноэтажный, полностью деревянный садовый домик площадью всего около 60 м². Студенты даже дали ему имя Luukku, что в переводе с финского означает «окошечко». Толстые стены почти в полметра толщиной, система вентиляции с рекуперацией тепла, солнечные батареи на крыше и небольшой тепловой насос для обогрева обеспечивают комфортную температуру в помещении. При этом энергобаланс дома остаётся нулевым даже в городе Мянтухарью, расположенном на 61-й параллели. Для охлаждения воздуха в жаркую погоду в Luukku применяется и вовсе оригинальное техническое решение. В стене под внутренней деревянной обшивкой спрятан слой особых парафинов, которые плавятся при 26 °С и, переходя в жидкое состояние, забирают у внутреннего воздуха тепло, что позволяет поддерживать комфортную температуру несколько часов пикового зноя.

Авторы проекта уже нашли партнёров и обещают в ближайшие годы наладить массовый выпуск домов более привычного размера. Квадратный метр нулевого коттеджа будет стоить примерно € 2,6 тыс.

В российских условиях в настоящее время нулевой дом невозможен даже не по климатическим соображениям (Россия – большая страна, и регионов с мягким жарким климатом достаточно), а по юридическим: энергосети не покупают электричество у домохозяйств. Впрочем, даже активных домов в России до последнего момента не строили.

Первый такой проект планируется к сдаче в Наро-Фоминском районе Московской области. По расчетам специалистов Института пассивного дома, расход тепловой энергии на отопление должен составить 33 кВт·ч/м² в год, а суммарное годовое энергопотребление – 90 кВт·ч/м². Российский активный дом будет вырабатывать гораздо меньше электричества, чем его западноевропейские «собратья». Связано это с тем, что пик производства энергии приходится на день, когда хозяев обычно нет дома, а российские энергосети не покупают излишки электричества. Площадь солнечных батарей составит всего 5 м². Чтобы фотоэлементы не заваливало снегом, они будут размещены не на крыше, а на южной стене дома. Площадь солнечных коллекторов больше – около 16 м². Они обеспечат дому не только горячее водоснабжение, но и частично отопление. Солнечные коллекторы разместят на крыше, а для борьбы со снегом предусмотрена система реверса, позволяющая закачать в коллекторы горячую воду. Кроме того, для отопления предусмотрен тепловой насос, а также высокоэффективные энергосберегающие окна, пропускающие солнечное тепло и не выпускающие его за счёт селективного покрытия. Вентиляция спроектирована гибридная. Зимой и в пиковую жару она будет принудительной с рекуперацией тепла. В остальное время ставка сделана на естественное проветривание через

автоматически открывающиеся окна, управлять которыми будет «умная» система с датчиками влажности и уровня CO_2 .

Пока активные дома на стадии эксперимента, счёт им идёт на единицы, и говорить об их цене рано. Вряд ли такие здания будут популярны у россиян, ведь русский человек заботится не об экономии будущих эксплуатационных расходов, а о том, сколько он платит здесь и сейчас. К сожалению, современного «нового русского» мало волнуют проблемы, связанные с будущей экологической обстановкой, парниковым эффектом и прочими «высокими материями». Главное, что сегодня «зеленый» дом обойдется ему значительно дороже, чем его «не зеленый» конкурент. Теплосберегающие характеристики и экологичность строительных материалов также мало кого волнуют. По данным специалистов, в настоящее время из кирпича строятся 41 % поселков, из газосиликатного блока – 26 %, из бревна – 16 %, из бруса – 13 %, а 4 % – из других материалов.

Основной особенностью пассивного дома, как уже отмечалось, является отсутствие необходимости отопления или малое энергопотребление. В большинстве развитых стран существуют собственные требования к стандарту пассивного дома.

В таких домах, например, окна располагаются так, чтобы жильцы имели естественное освещение как можно дольше, создаются резервуары для сбора дождевой воды, монтируются современные системы отопления, экономного электроосвещения, системы эффективной сортировки мусора. Все начинания поддерживаются государственными субсидиями [51].

Показателем энергоэффективности строительного объекта (здания) служат потери тепловой энергии с квадратного метра ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) в год или в отопительный период. В среднем эта величина составляет 100-120 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Энергосберегающим считается здание, у которого этот показатель ниже 40 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Для развитых европейских стран этот показатель ещё ниже – порядка 10-15 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ [24].

В традиционном строительстве для обогрева 1 м^2 здания в год требуется 35 м^3 природного газа. При использовании в доме пассивных строительных технологий для его отопления достаточно 1,5 м^3 в год. Таким образом, для дома площадью 100 м^2 ежегодная экономия составляет до 3350 м^3 газа.

Архитектурная концепция пассивного дома базируется на следующих принципах:

- компактность;
- высокое качество и эффективность утепления;
- отсутствия мостиков холода в материалах и узлах примыканий;
- правильная геометрия здания;
- зонировании и ориентации по сторонам света;
- использование системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией.

В идеале, пассивный дом должен быть независимой энергосистемой, вообще не требующей расходов на поддержание комфортной температуры. Отопление пассивного дома должно происходить благодаря теплу, выделяемому живущими в нём людьми и бытовыми приборами. При необходимости дополнительного «активного» обогрева желательным является использование альтернативных источников энергии.

Горячее водоснабжение осуществляется за счёт ВИЭ: тепловых насосов или солнечных водонагревателей.

Охлаждение (кондиционирование) здания также осуществляется посредством соответствующего конструктивного решения, а в случае необходимости дополнительного охлаждения – за счёт альтернативных источников энергии, например, геотермального теплового насоса.

Для строительства пассивных домов, как правило, применяются экологически чистые материалы, часто традиционные – газобетон, дерево, камень, кирпич. В последнее время часто стали использоваться продукты рециклизации неорганического мусора – бетона, стекла и металла. В Германии, например, построены специальные заводы по переработке подобных отходов в строительные материалы для энергоэффективных зданий. Обязательным условием, естественно, является система сортировки сбора мусора, принятая в развитых странах, но, к сожалению, не в России.

9. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

9.1. Теплоизоляция

Пассивный дом должен иметь эффективную тепловую изоляцию. Фотография в инфракрасных лучах показывает, насколько эффективна теплоизоляция пассивного дома (справа) по сравнению с обычным домом (слева).

Ограждающие конструкции (стены, окна, крыши, пол) стандартных домов имеют довольно большой коэффициент теплопередачи. Это приводит к значительным потерям: например, тепловые потери обыкновенного кирпичного здания составляют 250-350 кВт·ч в год с 1 м² отапливаемой площади.

Технологическая концепция пассивного дома предусматривает эффективную теплоизоляцию всех ограждающих поверхностей – не только стен, но и пола, потолка, чердака, подвала и фундамента. В пассивном доме формируется несколько слоёв теплоизоляции – внутренняя и внешняя.

Как правило, для утепления стен и пола пассивного дома на грунте используется слой теплоизоляции с коэффициентом теплопроводности не более 0,04 Вт/(м·К) толщиной 30 см, а крыши – 40 см. Это позволяет одновременно не выпускать тепло из дома и не впускать холод внутрь него. Кроме того, перегородки в пассивном доме должны обладать высокой способностью аккумулировать тепло. Также производится устранение

«мостиков холода» в ограждающих конструкциях. В результате в пассивных домах теплопотери через ограждающие поверхности, как правило, не превышают $15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, что практически в 20 раз ниже, чем в обычных зданиях.

9.2. Регулирование микроклимата

В настоящее время технология строительства пассивных домов далеко не всегда позволяет отказаться от активного отопления или кондиционирования, особенно в регионах с постоянно высокими или низкими температурами, или резкими перепадами температур, например, в зонах с континентальным климатом.

Тем не менее, неотъемлемой частью пассивного дома является система регулирования микроклимата (обогрева, кондиционирования и вентиляции), расходующая ресурсы более эффективно, чем в обычных домах.

В обычных домах вентиляция осуществляется за счёт естественного движения воздуха, который проникает в помещение через специальные пазы в окнах (иногда через оконные проветриватели – клапаны приточной вентиляции) и удаляется пассивными вентиляционными системами, расположенными в кухнях и санузлах.

В энергоэффективных зданиях используется более сложная система: вместо окон с открытыми пазами используются звукоизолирующие герметичные стеклопакеты, а приточно-вытяжная вентиляция помещений осуществляется централизованно через установку рекуперации тепла. Для повышения энергоэффективности монтируется подземный воздуховод, снабжённый теплообменником. Зимой свежий холодный воздух входит в подземный воздуховод, нагревается за счёт тепла земли до температуры $+3^\circ\text{C}$ и поступает в рекуператор. В рекуператоре старый (отработанный) воздух отдает тепло свежему (не смешиваясь с ним) и выбрасывается на улицу, а свежий воздух из рекуператора с температурой $+17^\circ\text{C}$ поступает в дом [44]. Таким образом, осуществляется бесплатное отопление. Если температура поступающего воздуха слишком низкая, он дополнительно подогревается электрическим нагревателем мощностью $2,1 \text{ кВт}$. Температура подогрева воздуха задается на программной панели электронагревателя. В летний период система функционирует как бесплатный центральный кондиционер: горячий воздух ($+30^\circ\text{C}$) входит в подземный воздуховод, охлаждается за счёт температуры земли до 17°C и поступает в дом.

Воздухозабор находится в корпусе окна подвала, в нем смонтирован сменный воздушный фильтр, который защищает систему от загрязнения. Подземный воздухопровод выполнен из полипропиленовой трубы диаметром 200 мм и длиной 40 м, которая уложена по периметру дома на глубине около 3 м с уклоном в направлении рекуператора для того, чтобы сделать возможным сток конденсата. Такие размеры и форма воздухопровода в

песчаном грунте обеспечивают зимой нагрев воздуха до 24 °С выше нуля (при наружной температуре воздуха 15-20 °С ниже нуля), а летом охлаждение его до температуры +20 °С (при температуре снаружи 30-35 °С выше нуля). В период смены сезона подземный воздухопровод обычно не используется.

В пассивном доме (на всякий случай) могут быть установлены традиционный котёл и радиаторы. Если зимой слишком мало солнечных дней, то можно включить дополнительное отопление. Однако, по отзывам пользователей, эта система практически не используется.

За счёт такой системы в пассивном доме постоянно поддерживаются комфортные условия. Иногда возникает необходимость использования маломощных нагревателей или кондиционеров (тепловой насос) для минимальной регулировки температуры.

Тепловые насосы отличаются от традиционных источников тепла тем, что это энергосберегающая технология, снижающая затраты на энергоресурсы и топливо. Инновационность технологии заключается в автономности системы отопления с помощью теплового насоса, использующего энергию Земли, что является неоспоримым преимуществом, когда дом отдалён от централизованного отопления или газовой магистрали. Выгода геотермальных насосов по сравнению с прочими системами отопления заключается в том, что тепловой насос даёт не только тепло для отопления здания или горячую воду в дом, но и холод для кондиционирования (в летнее время).

9.3. Энергобезопасность пассивного дома

Уникальность пассивного дома в том, что его можно построить в «чистом» поле без использования газовых сетей и теплоцентралей. Нужны только источник водоснабжения и электроэнергия (примерно 10 кВт на дом или квартиру). Этого вполне достаточно для приготовления пищи, отопления, кондиционирования, вентиляции, горячего водоснабжения.

В случае отключения электроэнергии пассивный дом остывает на 1 °С в сутки при температуре наружного воздуха минус 15 °С. Во многом этому способствуют аккумуляторы тепла, роль которых выполняют массивные несущие стены, железобетонные плиты пола первого этажа и междуэтажные перекрытия [25].

Ещё большее повышение энергобезопасности пассивного дома достигается с помощью дополнительного инженерного оборудования и различных источников энергии, к которым можно отнести: камины, печи, тепловые насосы, солнечные коллекторы для подогрева воды, солнечные батареи, ветрогенераторы и т.д.

Такие мероприятия по повышению энергобезопасности могут сделать пассивный дом полностью энергонезависимым с децентрализованным энергоснабжением, водоснабжением и очисткой бытовых стоков. Колодцы,

скважины для воды и индивидуальные очистные сооружения сегодня выполняются многими фирмами.

Таким образом, пассивный дом является полностью энергонезависимым домом нового поколения, надёжным в эксплуатации, долговечностью более 150 лет, внутриклиматическая среда в котором является «лабораторией» здоровья для человека.

К первым экспериментам повышения энергосбережения зданий можно отнести сооружение, построенное в 1972 г. в городе Манчестер в штате Нью-Гэмпшир (США) [25]. Кубическая форма здания обеспечивает минимальную поверхность наружных стен, площадь остекления не превышает 10 %, что позволяет уменьшить потери тепла за счёт объёмно-планировочного решения. По северному фасаду остекление отсутствует. Покрытие плоской кровли было выполнено в светлых тонах, что уменьшает её нагрев и, соответственно, снижает требования к вентиляции в тёплое время года. На кровле здания установлены солнечные коллекторы (рис. 4).



Рис. 4. «Зеленое» здание One Angel Square в Манчестере (США)

В 1979 г. в городе Отаниеми (Финляндия) был построен комплекс Есопо-house (рис. 5). В здании, кроме сложного объёмно-планировочного решения, учитывающего особенности местоположения и климата, была применена особая система вентиляции, при которой воздух нагревался за счёт солнечной радиации, тепло которой аккумулировалось специальными стеклопакетами и жалюзи. В общую схему теплообмена здания, обеспечивающую энергосбережение, были также включены солнечные коллекторы и геотермальная установка. Форма скатов кровли здания учитывала широту места строительства и углы падения солнечных лучей в различное время года [45].



Рис. 5. Econo-house в Финляндии

Впервые схему оборудования пассивного дома предложили в мае 1988 г. доктор Вольфганг Файст, разработчик «Пакета проектирования пассивного дома» в Дармштадте (Германия), и профессор Бо Адамсон из Лундского университета (Швеция). Концепция разрабатывалась в многочисленных исследовательских проектах, финансируемых землёй Гессен, Германия [24].

Крупнейшим автономным домом в мире может стать «Башня Жемчужной реки» в Гуанчжоу (Китай), строительством которой занимается американская компания «Skidmore, Owings and Merrill». 69-этажная башня высотой 300 м, как и следует настоящему «нулевому» дому, не будет подключена к внешним источникам электроэнергии (рис. 6). Характерная особенность этой постройки – наличие двойного остекления с вентиляцией между двумя слоями стекла, что позволит снизить издержки на кондиционирование помещения. Кроме того, в нём будут автоматические жалюзи, которые будут самостоятельно менять угол раскрытия в зависимости от положения солнца. Здание будет оснащено солнечными панелями и ветрогенераторами [45].

В России понятие «пассивный дом» появилось сравнительно недавно. К сожалению, в связи с бюрократическими издержками прошлого в нашей стране для изменения системы отопления, водоснабжения нужен ряд разрешений, для получения которых необходимо обегать невероятное количество инстанций. С установкой в подъездах ламп с датчиками движения жилищные компании тоже не торопятся: устанавливаются они, как правило, за свой счёт. На Севере, где полярный день тянется несколько месяцев, освещение подъездов все равно не прекращается.



Рис. 6. Башня Жемчужной реки (Китай)

Во всём мире к 2006 г. было построено более 6000 пассивных домов, офисных зданий, магазинов, школ, детских садов. Большая их часть находится в Европе.

Резюмируя всё вышеизложенное, можно отметить основные концептуальные параметры, отвечающие требованиям энергоэффективного дома:

- высокоэффективная теплоизоляция дома, не только стен, но и потолка, пола, чердака, подвала. Формируется несколько слоев теплоизоляции (внешняя и внутренняя), не позволяющие выпускать тепло и впускать холодный воздух. Тепловые потери составляют $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в обычном здании – $250\text{-}300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$);

- инновационные оконные системы используют двух- или трёхкамерные конструкции, применяется специальная технология примыкания окон к стенам. Самые большие окна направлены на юг, откуда поступает максимальное солнечное излучение;

- система рекуперации тепла выходящего из помещения воздуха. Воздух выходит и поступает в дом через специальный воздухопровод. В рекуператоре (теплообменнике) отработанный домашний теплый воздух нагревает поступающий уличный воздух (согретый уже в воздухопроводе от тепла земли) и затем выбрасывается на улицу.

Известно, что при отоплении жилья в атмосферу выбрасывается до 40 % углекислого газа от всего объема CO_2 , образующегося при сжигании топлива. Для обогрева домов нового типа применяются, как уже было отмечено, в первую очередь альтернативные источники энергии.

Сдерживающим фактором строительства пассивных домов в России является их относительная дороговизна, они примерно на 15-20 % дороже обычных домов. Тем не менее, надо принять во внимание не только стоимость жилья, но и стоимость его дальнейшей эксплуатации. Затраты по эксплуатации пассивного дома в разы меньше затрат на обычное жилье, также стоит учесть постоянный рост цен на отопление, горячую воду и электроэнергию. Дополнительные затраты на строительство окупаются в течение 7-10 лет.

В пассивном доме отпадают затраты на некоторые виды работ и оборудование, присущие обычным зданиям:

- разводка водяного отопления и установка котельного оборудования;
- подключение газа;
- ёмкости для хранения топлива;
- чистка труб и фитингов.

Стоимость же электроконвекторов, системы вентиляции и дополнительного утепления практически ниже стоимости классического отопления. А отказ от газовых сетей и теплоцентралей позволяет значительно сократить себестоимость строительства.

Стандартизация пассивных домов устанавливается в зависимости от значения удельного потребления тепловой энергии (УПТЭ) на отопление ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) в год. В Европе принята следующая классификация зданий в зависимости от их уровня энергопотребления:

- «Старое здание» (здания, построенные до 1970-х гг.) – УПТЭ примерно $300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год;
- «Новое здание» (здания, построенные с 1970-х до 2000 г.) – УПТЭ не более $150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год;
- «Дом низкого потребления энергии» (с 2002 г. в странах ЕС не разрешено строительство домов более низкого стандарта) – УПТЭ $< 60 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год;
- «Пассивный дом» – УПТЭ не более $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год;
- «Дом нулевого энергобаланса» (здание, архитектурно имеющее тот же стандарт, что и пассивный дом, но инженерно оснащённое таким образом, чтобы потреблять исключительно только ту энергию, которую само и вырабатывает) – УПТЭ = $0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год.
- «Дом с положительным энергобалансом», или «активный дом» – здание, которое с помощью установленного на нём инженерного оборудования (солнечных батарей, коллекторов, тепловых насосов, рекуператоров, грунтовых теплообменников и т. п.) вырабатывает больше энергии, чем само потребляет, т.е. может не только обеспечивать себя, но и отдавать энергию в центральную сеть [24].

Иногда определение «пассивный дом» путают с системой «умный дом», одной из задач которой является обеспечение контроля энергопотребления здания. Дополнительным средством экономии тепловой энергии являются автоматизированные системы управления техническими

устройствами в здании. Такие системы, к примеру, снижают температуру помещения во время отсутствия людей или в ночное время. «Умное» отопительное оборудование позволит контролировать и автоматически регулировать интенсивность отопления в зависимости от температуры на улице.

9.4. Технология строительства пассивного дома

Принципы постройки пассивного дома:

– все ограждающие конструкции должны иметь эффективную теплоизоляцию, по сути превращающую дом в термос и исключаящую мостики холода;

- форма сооружения компактна;
- ориентация здания на юг;
- отсутствие затенения;
- энергосберегающие стеклопакеты;
- наличие контролируемой вентиляции с рекуперацией тепла [34].

Как уже отмечалось, под системой контролируемой вентиляции с рекуперацией тепла понимают устройство теплообменника, в котором отводящийся теплый воздух нагревает подающийся свежий воздух и сбрасывается в атмосферу.

Технология строительства пассивного дома заключается в следующем:

– важно правильно выбрать участок для постройки: он должен быть открытым, хорошо освещённым, не находиться на возвышенности, так как иначе ветер будет сильно его выхолаживать, что приведёт к увеличению расходов на отопление;

– фундамент должен быть сплошным – цельная плита, уложенная на слой теплоизоляции. Фундамент закладывается ниже уровня промерзания грунта. Сначала укладывается геотекстиль, затем засыпается морозостойкий материал, этот слой выравнивается, на него кладётся пленка из полиэтилена и слой теплоизоляции в 10–15 см, способный выдерживать сильное сжатие. Сверху укладывается армированная фундаментная плита;

– по периметру фундамента с помощью опалубки делается монолитная бетонная изоляция цоколя;

– фундамент должен обеспечивать коэффициент теплопередачи не более $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а стены и крыша – не более $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

– все запроектированные коммуникации (трубопроводы канализации, воды, коробка для кабелей электричества и средств связи) прокладываются и проходят сквозь конструкции по мере строительства;

– для строительства тёплых стен используются керамические поризованные блоки (рис. 7), газобетонные блоки, термоблоки;



Рис. 7. Керамические поризованные блоки

- конструкция стен: внешняя отделка – теплоизоляция – кладка – штукатурка. Все швы кладки должны быть герметичны;
- конструкция крыши также должна быть герметична и тщательно утеплена;
- стропильная система делается либо из металла, либо из сухого дерева, чтобы его не повело в процессе высушивания, что непременно приведет к щелям и сквознякам;
- стропильная конструкция устраивается с шагом 25 см; изоляция прокладывается межстропильная и надстропильная;
- для оконных конструкций применяются стеклопакеты (двух- или трёхкамерные), стёкла – теплоизолирующие с инертным газом между ними и низкоэмиссионным напылением, что обеспечивает коэффициент теплопередачи окон $\sim 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- для снижения потери тепла через систему вентиляции применяется рекуперация тепла – до 75 %. Дополнительный свежий воздух подводится через грунтовый теплообменник (труба длиной до 35 м), расположенный на глубине 1,5 м, где он летом нагревается, а зимой охлаждается;
- для отопления дома и нагрева воды используются солнечные коллекторы, тепловые насосы и низкотемпературное отопление через «теплый пол» или радиаторы.

Пассивные дома дороже традиционных на 15-20 %, но экономия на эксплуатации позволяет окупить эти расходы за 7-10 лет.

9.5. Принципы использования солнечной энергии и остекления в пассивных домах

Для эффективного использования солнечной энергии необходимо соблюдение следующих условий:

- при остеклении применяются высококачественные материалы, обеспечивающие высокую пропускную способность солнечной энергии и низкий коэффициент теплопередачи;
- другие потери по периметру окна должны быть незначительными;

– должно быть обеспечено максимально возможное тепlopоступление от использования солнечной энергии через прозрачные поверхности.

На рис. 8 представлены возможные типы остеклений, оптимальные для установки в пассивных зданиях, а в табл. 2 – соответствующие технологические параметры: коэффициент теплопередачи k , коэффициент термического сопротивления $R = 1/k$ и коэффициент пропускания солнечной энергии g .

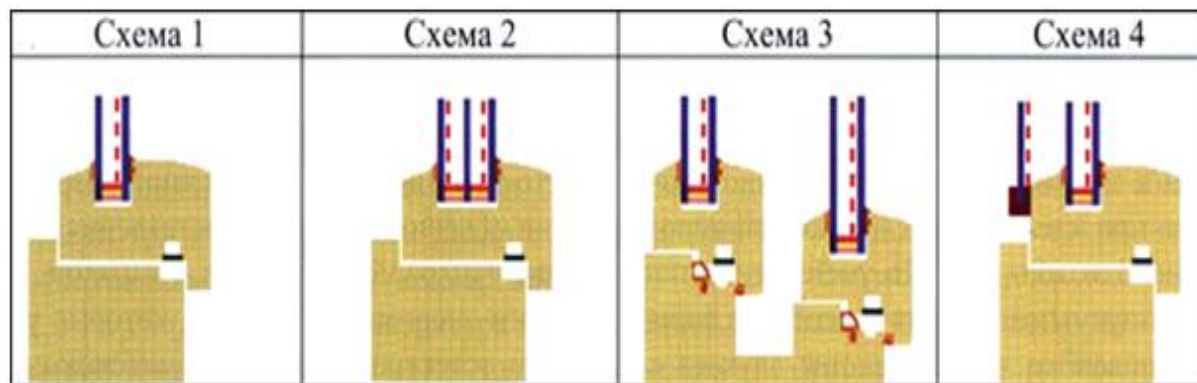


Рис. 8. Различные схемы остекления

У самых обыкновенных оконных рам коэффициент теплопередачи от 1,5 до 2 Вт/(м²·К), а теплотери с 1 м² вдвое превышают аналогичный показатель остекления для пассивного дома, для которого по нормам коэффициент теплопередачи равен 0,7 Вт/(м²·К). Кроме того, необходимо учитывать значительные мостики холода в местах соединения остекления с рамой. Чтобы восполнить баланс от солнечных тепlopоступлений вследствие этих дополнительных теплотерь, следует применять оконные рамы с высоким термическим сопротивлением (рис. 9).

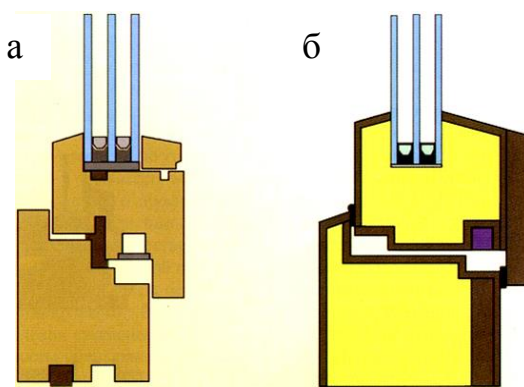


Рис. 9. Сравнение оконных рам:

- а – остекление для пассивного дома в стандартной деревянной раме с коэффициентом теплопередачи $k > 1,09$ Вт/(м²·К);
- б – специальные высокоизолированные рамы для пассивного дома со значением $k = 0,8$ Вт/(м²·К)

Типы остекления

№	Тип остекления	Коэффициент теплопередачи остекления, k , Вт/(м ² ·К) / термическое сопротивление, R , (м ² ·К)/Вт	Коэффициент общего пропускания солнечной энергии, g , %
1	2 стекла с одним низкоэмиссионным покрытием (аргон). Этот тип остекления при больших площадях не пригоден для пассивных зданий.	1,1-1,4 / 0,91-0,71	55-68
2	3 стекла с двумя низкоэмиссионными покрытиями, 2х11 мм (криптон)	0,5-0,7 / 2-1,43	45-57
	3 стекла с двумя низкоэмиссионными покрытиями, 2х16 мм (аргон)	0,6-0,8 / 1,66-1,25	45-53
3	Двойная оконная рама, два стеклопакета с двумя стеклами (2х2 стекла) с одним низкоэмиссионным покрытием на каждый (аргон)	0,6 / 1,66	47
4	2 стекла с одним низкоэмиссионным покрытием (аргон), и перед ними одно стекло с твердым покрытием (k – стекло)	0,8 / 1,25	50

На примере сравнения одиночного стекла и тройного с низкоэмиссионным покрытием типа «аргон-криптон» наблюдается:

- примерно 10-кратное снижение коэффициента теплопередачи – с 5,6 до 0,5-0,8 Вт/(м²·К);
- примерно 10-кратное увеличение температуры на внутренней поверхности стекла – с 1,8 до 17 °С и выше;
- снижение тепловых потерь – с 480 до 30 кВт·ч/м² в год;
- примерно 2-кратное уменьшение поступления тепла от пассивного использования солнечной энергии [45].

Качество остекления является более важным показателем, чем площадь остекления.

Для изготовления теплоизоляционных оконных профилей используются следующие конструктивные варианты:

- рамы, утеплённые пенополиуретаном, со статическими элементами жесткости из стальных, алюминиевых или стекловолоконных профилей;
- пластиковые профили для рам с двумя или тремя воздушными камерами, с внутренним расположением элемента жесткости;
- рамы из дерева, металла или пластика с внутренним заполнением из пенополиуретана;

– деревянные окна с теплоизоляционным вкладышем из мягкой теплоизоляционной деревянной плиты или из бальзы.

Расположенные на юг окна пассивного дома должны быть с тройным стеклопакетом, низкоэмиссионным покрытием, не очень большими по площади, с утепленными оконными рамами.

Через окна южной ориентации в солнечную погоду в здание проникает значительное количество солнечной энергии. Стекло свободно пропускает коротковолновое световое ультрафиолетовое излучение, но неохотно пропускает в обратном направлении длинноволновое инфракрасное тепловое излучение, которое излучают нагретые солнечными лучами поверхности, находящиеся внутри помещений [26].

Еще в мае 1947 г. исследования Ф. У. Хатчинсона показали, что количество поступающего через окна с двойным остеклением южных стен домов солнечной радиации в большинстве городов США более чем достаточно, чтобы компенсировать неизбежные потери при пропускании через стекло (рис. 10).

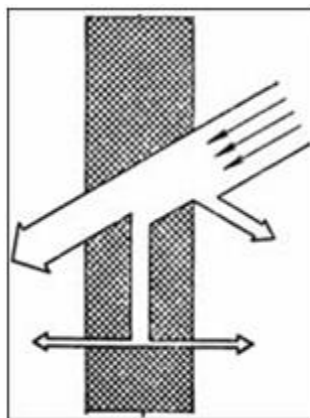


Рис. 10. Схема распределения солнечного теплового потока

Большие площади остекления влекут за собой большие первоначальные затраты на отопительную систему из-за дополнительных потерь тепла через стекло, которое заменило собой сплошную непроницаемую стену. Кроме того, для данной широты местности общее количество поступающей солнечной радиации не меняется, несмотря на облачность, и тепловые потери зависят только от наружной температуры. Поэтому применение остекления большой площади в мягком климате обеспечивает большие возможности для снижения потребности в сезонном отоплении, чем в холодном климате на той же широте.

Количество солнечной энергии, поступающее через обращённое на юг окно, в средний солнечный зимний день больше, чем в средний солнечный день летом. Это объясняется рядом причин:

– несмотря на то, что продолжительность светового дня летом больше, чем зимой, количество часов возможного освещения солнцем окна, выходящего на юг, зимой больше, чем летом;

– плотность потока солнечной радиации на плоскость, перпендикулярную солнечным лучам, летом и зимой примерно одинакова. Потери энергии солнечной радиации при прохождении лучей через атмосферу компенсируются тем, что зимой Солнце ближе к Земле, чем летом;

– поскольку зимой Солнце находится ниже над горизонтом, угол падения солнечных лучей ближе к нормали, чем летом, когда Солнце находится на большей высоте. Например, на 35° с.ш. в средний зимний час на 1 м^2 окна может поступить в 1,5 раза больше энергии, чем летом;

– излучение зимнего неба (из-за рассеивающего эффекта атмосферы) в 2 раза превышает излучение летнего неба;

– чем ближе к нормали угол падения солнечных лучей на окно, тем выше общий коэффициент пропускания, поэтому зимой этот коэффициент выше, чем летом;

– при правильном затенении окно можно закрыть от большей части прямого летнего солнечного излучения.

Из всего вышеизложенного следует, что зимой через выходящие на юг окна поступает в 2 раза больше солнечной радиации, чем летом. А если летом окна затенить, то разница оказывается еще большей.

Кроме того, влияние типа окна и широты местности относительно невелико по сравнению с влиянием температуры наружного воздуха и нестабильностью солнечной погоды.

Нередко шторы или задернутые занавески уменьшают поступление солнечной энергии в помещение. Применение таких средств, как изолирующие ставни, закрывающие окна на ночь, существенно снижает потери тепла и увеличивает общий уровень полезного поступления тепла.

Поступление тепла и потери тепла через окна зависят от типа оконной рамы: для окон с деревянными рамами по сравнению с алюминиевыми снижение летнего поступления тепла и зимних потерь тепла является весьма существенным.

Таким образом, для изготовления рам в новых зданиях целесообразно применять дерево. Замена оконных рам в существующих зданиях также является целесообразной.

Для экономии энергии имеет значение и тип стекла. Стекла всех типов (прозрачное, теплопоглощающее, теплоотражающее) теряют примерно одинаковые количества тепла из-за теплопроводности. Однако количества солнечной радиации, которые передаются стеклами этих трёх типов, сильно различаются.

Более практичным решением, как альтернатива применения теплопоглощающих или теплоотражающих стекол, является использование растительности, а также регулируемых затеняющих устройств.

Затеняющие устройства снаружи здания наиболее эффективны; устройства между двумя слоями остекления (например, подъёмные жалюзи) несколько уступают им по эффективности; внутренние устройства (ставни, шторы, занавеси) наименее эффективны, так как преграждают путь солнечным лучам только после того, как они проникли в здание.

Теплопоглощающие и теплоотражающие стёкла снижают расход энергии на кондиционирование воздуха, стоимость оборудования и затраты на его эксплуатацию. Однако экономия обычно определяется в результате сравнения затрат с соответствующими данными для зданий с ограждающими конструкциями, выполненными из стекла, а не с данными для зданий, уже спроектированных с учетом мероприятий по экономии энергии.

Все четыре (или более) фасада здания необязательно должны иметь одинаковый внешний вид. Особенно это касается зданий с большими площадями остекления. Хотя строительство зданий в виде стеклянных коробок может иметь экономические, социальные и другие причины.

Обращённое на юг остекление можно легко затенять наружными козырьками над стеклами. Главная трудность при проектировании фиксированных козырьков заключается в том, что величина затенения, возникающая от тени козырьков на стекле, зависит в основном не от календарного времени года, а от положения Солнца.

Представляет определённый интерес применение регулируемых затеняющих устройств. Регулируемое затенение, расположенное между стеклами двойного окна, не так эффективно, как наружные устройства, но более эффективно, чем внутренние, которые, однако, наиболее удобны для использования людьми, находящимися в здании.

Регулируемое жалюзийное затеняющее устройство Skylid приводится в действие с помощью энергии Солнца (рис. 11) [26].

Все элементы жалюзи поворачиваются одновременно: в открытом положении они пропускают солнечные лучи, а в закрытом – изолируют окно и сохраняют внутри тепло (или прохладу). На одном из жалюзийных элементов смонтированы две ёмкости, соединённые небольшой трубкой, по которой протекает фреон, расширяющийся или сжимающийся в зависимости от температуры, которая определяется главным образом солнечным излучением, попадающим на выступающую наружу ёмкость. Когда солнце нагревает фреон, он перетекает из выступающей наружу ёмкости в другую, уравновешивая жалюзийные элементы и заставляя их закрываться.

Зимой система работает в обратном порядке: солнце заставляет жалюзи открываться в солнечные часы и закрываться ночью, удерживая тепло в помещении.

Кроме автоматического управления жалюзи могут регулироваться с помощью ручного рычага.

Очень трудно затенять остекление, обращённое на восток и запад, потому что солнце над горизонтом стоит низко и летом, и зимой. Одним из вариантов затенения в этом случае являются вертикальные жалюзи (или

подобные им конструкции), принцип действия которых заключается в том, что обращённое на восток или запад остекление переориентируется на север или юг.

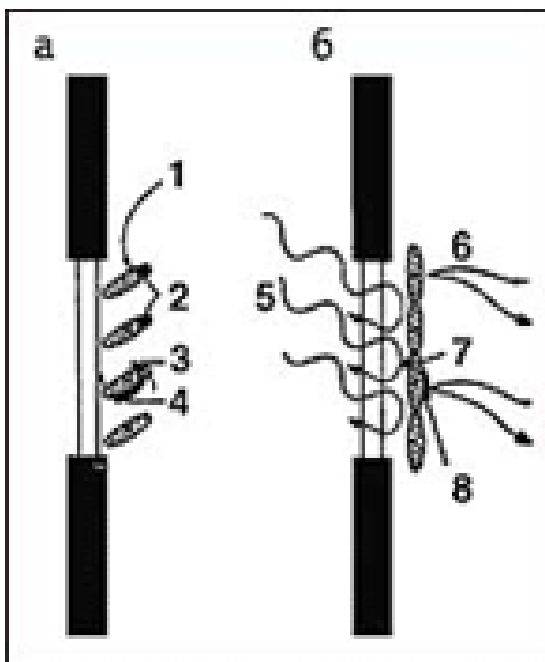


Рис. 11. Схема работы системы Skylid в летнее время:

а – пасмурная погода; б – солнечная погода:

- 1 - отражающая поверхность; 2 - элемент жалюзи, заполненный изоляцией; 3 - верхняя ёмкость заполнена; 4 - нижняя ёмкость пуста;
- 5 - солнце; 6 - тепло (прохлада) отражается назад в помещение;
- 7 - верхняя ёмкость пуста; 8 - нижняя ёмкость заполнена

При ориентации остекления на север будет пропускаться только не прямой свет, создающий благоприятное освещение для жизнедеятельности человека, а при ориентации освещения на юг обеспечивается поступление солнечной радиации в зимнее время.

Для этого применяется, как правило, пилообразное расположение окон на западном или восточном фасадах здания, обеспечивающее поступление солнечного тепла зимой, но исключаяющее его летом (рис. 12).

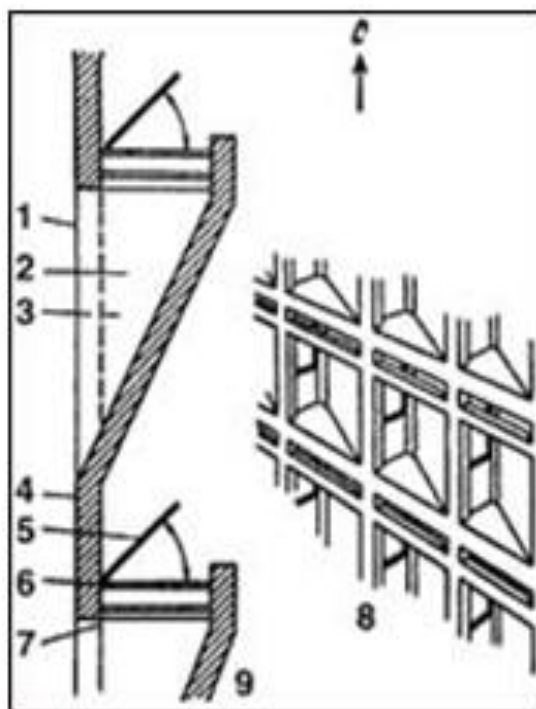


Рис. 12. Пилообразное расположение окон на западном фасаде здания:

- 1 - выступ здания; 2 - наружный выступ; 3 - верхний экран;
- 4 - наружная стена; 5 - регулирующая тепловой поток штора;
- 6 - двойное остекление; 7 - боковое затенение; 8 - план; 9 - вид сбоку

9.6. Активное использование солнечной энергии

Под солнечным домом принято понимать здание, которое как минимум на 50 % отапливается солнечной энергией. Остаток необходимой энергии для подогрева воды и отопления помещения в идеале должен компенсироваться дровяным отоплением (сжиганием пеллет).

Для того, чтобы достичь так называемой «высокой степени покрытия солнечной системой», которая может достигать 100 %, необходимо соблюсти ряд условий. Дом должен быть ориентирован на юг и иметь отвесную крышу или фасад, на котором можно расположить солнечные коллекторы большой площади. Таким образом, солнце можно активно использовать. Большие окна на южной стороне пропускают в дом тепло и позволяют использовать солнечную энергию пассивно.

Калифорнийская компания *Solyndra* разрабатывают инновационные фотоэлектрические солнечные конвекторы, позволяющие более эффективно использовать поверхность плоских крыш с максимальной степенью преобразования солнечного излучения в электроэнергию [30].

В солнечных панелях *Solyndra* применяются цилиндрические модули (рис. 13), которые воспринимают солнечное излучение с углом охвата фотоэлектрического модуля 360 °, позволяя им таким образом

преобразовывать в электричество не только прямые солнечные лучи, но и отражённые, и преломлённые.

прямые солнечные лучи

диффузионное солнечное излучение



отражённое излучение

Рис. 13. Цилиндрические модули *Solyndra*

Оптимальная мощность достигается при горизонтальном монтаже модулей, установленных на минимально возможном расстоянии друг от друга, поскольку при этом они охватывают большую поверхность крыши, чем обычные плоские панели. Особый эффект достигается в сочетании таких модулей с белыми кровельными листами *Evalon* фирмы *Alwitra*, которые характеризуются более высокой отражательной способностью в сравнении с другими материалами (рис. 14).



Рис. 14. Солнечные панели с модулями *Solyndra*

Активный дом как рекламно-просветительский проект построили осенью 2011 г. на 20-м километре Киевского шоссе, в коттеджном поселке «Западная долина», совместно российская и датская компании (датчане уже вложились в такие дома в пяти странах Европы). Российский дом стоит 38 млн руб. и представляет собой скорее музейный экспонат, чем коммерческий проект: он никогда не принесёт прибыли [8].

Очевидно, в России «зеленые» технологии не будут выгодны до тех пор, пока не вырастут цены на энергоносители. Однако дешевизна энергоносителей в России обманчива, ведь косвенно мы платим за содержание и ремонт морально и физически изношенных систем теплоснабжения, которым характерны чудовищные теплопотери.

Наличие «зеленой» инфраструктуры в России удешевило бы строительство на треть (хотя бы за счёт наличия «умных» сетей, способных принимать электричество от домохозяйств). В идеале экодом должен быть дешевле обычного дома за счёт использования местных материалов и снижения затрат на транспортировку. Но до этого в России далеко.

Теплопотери обычного дома настолько велики, что он «подогревает космос», а в условиях плотной застройки и большого количества автомобилей образуется «тепловой купол», который распространяется вокруг крупных городов и в том числе является причиной лесных пожаров.

В России нет экологической сертификации в сфере строительства, и «пассивным домом» можно обозвать любое здание, стены которого обладают низкой теплопотерей, но этим его энергоэффективность и ограничивается.

9.7. Энергосберегающая крыша

Наибольшей популярностью в настоящее время пользуются традиционные дома со скатной крышей и деревянной стропильной конструкцией (рис. 15а). В более современных домах чаще всего сооружают вентилируемые плоские кровли (рис. 15б) [47].

Независимо от конструктивного решения, любая крыша нуждается в соответствующей тепло- и гидроизоляции, а также правильной вентиляции.

Вентиляция и отвод влаги. При выборе материалов следует помнить о правильной конструкции кровли, которая даёт возможность беспрепятственной диффузии водяного пара. Учитывая процесс проникновения водяного пара в жилое помещение, можно выделить два основных типа поверхности крыши: негерметичная и герметичная [47].

В случае покрытия из рубероида на сплошном дощатом настиле (герметичный тип) следует оставлять воздушный зазор между досками и теплоизоляцией. Этот зазор должен обеспечить вентиляцию кровли, поэтому необходимы входные и выходные отверстия для воздуха.

а



б



Рис. 15. Энергосберегающие крыши:
а – скатная; б – вентилируемая плоская

При использовании кровельных мембран с высокой степенью паронепроницаемости (негерметичный тип) в воздушном зазоре нет необходимости. В таком случае используется вся толщина стропил, и утепление соприкасается с ветроизоляцией, которую укладывают под кровельное покрытие. Внутри находится пароизоляционная лента, которая монтируется между теплоизоляцией и отделкой (например, гипсокартонными плитами). При таком решении следует обеспечить качественную, регулируемую гравитационную вентиляцию помещений (оконные вентиляционные клапаны, вентиляционные решетки).

Потери тепла через крышу в односемейных домах составляют от 10 до 15 % всей потери тепла в доме. Требования европейских строительных норм заключаются в проектировании крыши с коэффициентом теплопередачи не больше $0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Обеспечить выполнение требуемых норм не так уж просто. Главная причина заключается в неточности выполнения работ, что приводит к образованию практически незаметных каналов, позволяющих теплу покидать помещения – так называемых мостиков холода.

Мостик холода, или температурный мост – это участок ограждающей конструкции здания, имеющий пониженное термическое сопротивление. Например, стык между частями конструкции или конструктивный элемент, состоящий из материалов с более высокой теплопроводностью. Такие участки охлаждаются сильнее, чем другие части ограждения, поэтому их еще называют «мостиками холода». Наличие температурных мостиков значительно снижает эффективность теплозащиты здания (иногда теряется до 50 % всего тепла). Присутствие мостиков холода в здании является причиной образования конденсата и может значительно снизить время его эксплуатации [43].

Потенциальными местами их возникновения являются конструктивные узлы и все соединения наружных элементов, сделанных из разных материалов: стык пола на грунте со стеной фундамента, плиты фундамента с наружной стеной, проёмы окон и дверей, соединение крыши со стеной. К этому перечню можно отнести балконные плиты, выступы стен, места крепления металлических балюстрад, подпорок для телевизионных антенн, кладочные швы и т.п.

Избежать мостиков холода ещё на стадии строительства крайне сложно, иной раз проще утеплить весь дом, чем пытаться закрыть каналы утечки поодиночке.

Визуально мостики холода обычно не определяются. Для их обнаружения необходимо провести тепловизионную съёмку (рис. 16).

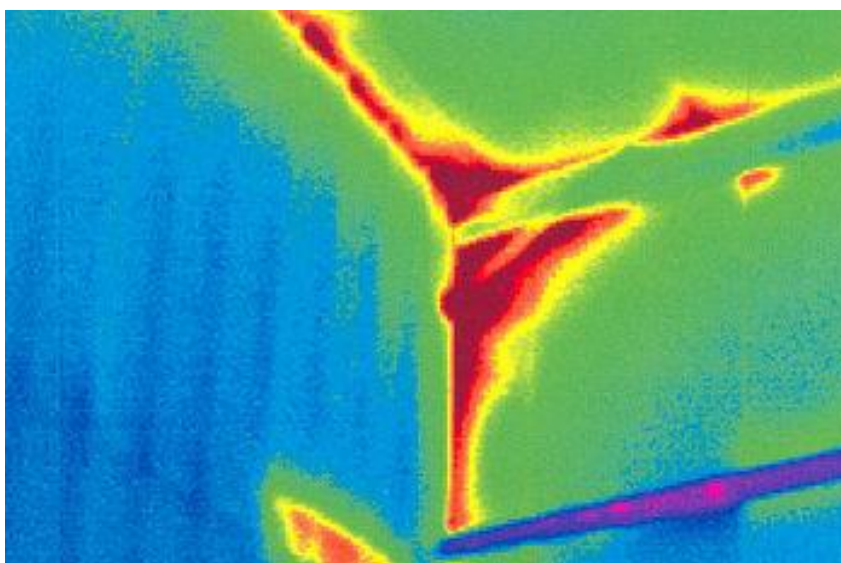


Рис. 16. Иллюстрация мостиков холода с помощью тепловизора

Оптимальная толщина теплоизоляции. Исследования показали, что оптимальная величина термического сопротивление крыши R составляет $5\text{--}7 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, а рекомендуемая толщина теплоизоляционного слоя от 30 до 35 см.

Если принять во внимание всю стоимость строительства, это небольшой дополнительный расход, составляющий около 1 % суммарных инвестиций. Поэтому стоит вкладывать деньги в энергосберегающие решения.

В течение скольких лет вернутся затраты на дополнительную теплоизоляцию? По подсчетам европейских экспертов, срок окупаемости составляет от 7 до 10 лет, в зависимости от источника отопления (тепловые насосы, газ, электричество и пр.). Следует, однако, учитывать и изменение цен на энергоносители в будущем.

Утепление крыш, как правило, выполняется при помощи минеральной ваты, которая, кроме теплоизоляционной, также выполняет противопожарную и звукоизоляционную функции.

Инвестирование в энергосбережение – очень выгодное мероприятие, как с экономической точки зрения, так и с экологической. Снижение расходов энергии уменьшает выбросы в атмосферу продуктов сгорания, в том числе «парниковых» газов, тем самым ограничивая неблагоприятные климатические изменения.

Инновационный проект энергосберегающего кровельного покрытия представляет *GZ Gundelfinger* (рис. 17). В элементы покрытия уже на этапе производства закладываются высококачественные отопительные трубы, расположенные в нижней части кровли (на глубине в несколько сантиметров), благодаря чему тепловой поток направляется вниз – в помещение [48].



Рис. 17. Энергосберегающая кровля *GZ Gundelfinger*

Зимой в трубы подаётся горячая вода, обеспечивающая отопление помещения, а летом – холодная, с целью кондиционирования. В массивной кровле тепло аккумулируется и медленно возвращается в помещение. Помещение нагревается или охлаждается равномерно, нет зон с излишне тёплым или холодным воздухом. Кроме того, в воздухе отсутствуют взвешенные частицы пыли, что присуще традиционным отопительным системам – важный фактор для людей, страдающих аллергией.

Энергосберегающая кровля идеально подходит при использовании альтернативных систем обогрева на базе тепловых насосов или солнечной энергии.

Крыша британского здания *Energy Centre of Excellence* покрыта кровельными листами *Kalzip AluPlusSolar* (площадью 1500 м²), которые представляют собой легковесный полностью интегрируемый источник возобновляемой энергии [49]. В данной системе применяется надёжное и гибкое тонкоплёночное фотоэлементное ламинирование.

Система *AluPlusSolar* обеспечивает выходную пиковую мощность 44 кВт и ежегодно вырабатывает 30 тыс. кВт·ч.

Конструктивное включение звукопоглощающих изоляционных материалов способствует улучшению акустических характеристик.

С целью дальнейшей экономии энергетических ресурсов и уменьшения выбросов CO₂ непосредственно на строительной площадке были собраны трехслойные кровельные фонари *Kalzip Multivault SSR* общей площадью около 300 м². Ряды фонарей *Multivault SSR* разделяют группы панелей *AluPlusSolar*. Противостоящие погодным условиям внешние части фонарей выполнены из двухслойного поликарбоната. Под ними, в плоскости кровли, смонтированы полупрозрачные панели. Такая система обеспечивает равномерное распределение рассеянного дневного света с минимальным эффектом тени во всех помещениях центра.

9.8. «Зеленая кровля», или Сад на крыше

«Поистине это противоречит всякой логике, когда площадь, равная целому городу, не используется, и шиферу остаётся любоваться звездами!» – эти слова принадлежат Ле Корбюзье, французскому архитектору, художнику-дизайнеру.

В последние годы в городах стали все больше внимания уделять нестандартным, нетрадиционным методам озеленения. В Европе и Америке появились так называемые «зеленые кровли», которые постепенно получают распространение и в России [12].

«Зеленые кровли» известны человечеству с давних времён. Висячие сады Семирамиды (около 600 г. до н.э.) – одно из Семи Чудес Света – фактически представляли собой первые зеленые кровли [14].

Позднее жители северных стран утепляли дома, обкладывая их кусочками мха и дерна.

В Западной Европе уже в XVII в. такое конструктивное решение как крыша-терраса на городских зданиях выполняло и функционально-экономическую, и социально-эстетическую задачу.

Первые сведения об устройстве цветников и садов на крышах в России относятся к XVII в. Так, митрополитом Ионой висячий (или, как их называли в России, «верховой») сад был устроен в кремле Ростова Великого. Известен висячий садик, созданный по приказу Петра I в Риге в 1717 г. Он занимал ограниченное пространство и находился на открытой террасе над Даугавой на уровне второго этажа, поддерживаемый массивными опорами. В нём росли пионы, белые и жёлтые нарциссы, тюльпаны, меласса, шалфей и другие растения. В XVIII в. архитектурное устройство садов на крышах было использовано при проектировании и строительстве Зимнего дворца, Малого Эрмитажа в Петербурга и Царского Села. В конце XIX в. идеями висячих садов было охвачено практически всё купеческое сословие.

Создание садов на крыше – перспективное направление ландшафтной архитектуры будущего. В мегаполисах, где значительная часть природного

пространства отдаётся под застройку, зеленая кровля является идеальным решением для компенсации ущерба, наносимого окружающей среде.

Устройства «сада на крыше» особо актуально в связи с чрезвычайно высоким ростом стоимости квадратного метра земли. В результате, использование свободных площадей крыш даёт возможность восполнить дефицит зелёных зон, устраивать на крышах зданий места для отдыха и проведения досуга, решая одновременно ряд экологически важных проблем.

Современные строительные и композиционные материалы и технологии дают возможность создавать устойчивое к динамическим нагрузкам защитное покрытие, что позволяет использовать площадь крыши для самых разных целей – устраивать летние кафе, детские площадки и площадки для гольфа, зоны отдыха, парковки автомобилей и т.д.

«Зелёные кровли» отфильтровывают твердые микрочастицы из воздуха, задерживают и очищают ливневые воды, предоставляют новые возможности для создания эстетического разнообразия, а летом помогают снизить эффект перегрева.

В связи с увеличением населения городов, необходим новый подход к комплексному решению ряда проблем, таких как загрязнение атмосферного воздуха и недостаток рекреационных зон для жителей. Невзрачные крыши можно полностью изменить при помощи «зеленых кровель», что создаст дополнительные возможности для преобразования эстетического облика города.

Для садов на крыше важным моментом является возможность совместить архитектуру здания, построенного надолго, с таким постоянно изменяющимся живым материалом, как растения и цветы (рис. 18).



Рис. 18. «Зелёная крыша»

В зависимости от особенностей кровли (местоположения, несущей способности здания, бюджета, потребности клиента, доступности материалов и растений), каждая озеленяемая поверхность кровли отличается от остальных, создавая, тем самым, неповторимый эстетический эффект.

Кровлю не зря называют «пятым фасадом». Именно на ней останавливается взгляд, и по её достоинствам часто оценивается архитектурное решение всего здания.

Различают два основных типа «зеленых кровельных систем»: *экстенсивную* и *интенсивную*, – отличающиеся, главным образом, стоимостью, толщиной растительной среды и выбором используемых растений [18].

Для *экстенсивных* «зеленых кровель» (часто неэксплуатируемых) характерен малый вес, низкие капитальные вложения, небольшое разнообразие применяемых растений и минимальные требования по обслуживанию.

Интенсивные «зеленые кровли» (как правило, эксплуатируемые) характеризуются большей толщиной субстрата, большим весом, более высокими капитальными затратами, широким разнообразием растений, высокими требованиями к обслуживанию. Благодаря большей толщине субстрата, список рекомендуемых растений более разнообразен и включает не только цветы и декоративные растения, но и кустарники и деревья, с помощью которых можно организовать более сложную экосистему. Однако и требования к обслуживанию интенсивных кровель более высокие: для них необходимо предусматривать особые системы полива. Для создания такой кровли необходимы консультации профессиональных конструкторов и ландшафтных дизайнеров, а для монтирования системы требуется опытный кровельщик.

При благоустройстве крыш в основном используются экстенсивные системы озеленения – идеальное решение для озеленения кровель с небольшой допустимой нагрузкой, уход за которыми не предполагается. Вес экстенсивной системы озеленения составляет всего 35 кг/м².

По оценкам экспертов, стоимость «зеленой кровли» в течение её жизненного цикла не превышает стоимости обычной кровли. «Зеленые кровли» являются своего рода инвестицией, которая приносит ряд социальных, экономических и экологических преимуществ. «Зеленые кровли» повышают энергосбережение здания (благодаря его охлаждению в жаркое время года и дополнительному утеплению в зимний период), продлевают срок службы кровельного материала, создают дополнительную звукоизоляцию, а также комфортные площади, доступные для жильцов.

Если «зеленые кровли» являются прекрасным дополнением уже существующих зданий, то вертикальное озеленение органично сочетается с урбанистическим пейзажем крупных мегаполисов, может размещаться в зонах, где озеленение территории не представляется возможным (рис. 19).



Рис. 19. Вертикальное озеленение

В условиях города, в местах активного пешеходного потока, интенсивного движения автотранспорта, переполненных парковок и полного отсутствия площадей для зеленых насаждений вертикальное и кровельное озеленение становится идеальным решением. Растения с течением времени постепенно смещаются с нижнего уровня городской зоны вверх, что позволяет создавать прекрасные ландшафтные композиции.

Найти необходимые средства для совершенствования городской среды возможно только при системном рассмотрении проблем взаимодействия города с измененной природой в его структуре и окружении.

За последние десятилетия в мире отработаны технологии, продуманы конструктивные элементы и созданы материалы, позволяющие устроить на крыше как простой «зеленый ковер», так и настоящий сад.

В Германии, например, разработаны и производятся готовые системы озеленения кровель. Одна из подобных систем – *FlorDepot* – была представлена на нижегородской архитектурно-строительной выставке несколько лет назад. На выставке «Архстрой-2009» нижегородская строительно-ландшафтная компания «Бонанза» представляла системы озеленения кровель немецкой фирмы *ZinCo*, работающей в этой области уже 50 лет [42]. Эти системы дают разнообразные возможности от озеленения плоских и скатных крыш до устройства настоящих садов на крышах домов и подземных гаражей. Необходимо лишь учитывать и распределять дополнительные нагрузки на существующую кровлю. Самый простой и относительно дешевый вариант – система экстенсивного озеленения крыши. Она подходит для крыш с небольшой допустимой нагрузкой, площадь которых не эксплуатируется и где не предполагается регулярный дальнейший уход. Вес системы экстенсивного озеленения невелик. Такое

озеленение годится не только для новостроек, но и для старых домов, для крыш как плоских, так и наклонных.

На российском рынке ведущей компанией по системам озеленения кровель является *ZinCo* (Германия), к последним проектам которой можно отнести:

- кровлю спортивно-оздоровительного центра, подземный гараж (г.Екатеринбург);
- крышу подземного гаража Газпрома;
- музей Космонавтики в Москве.

9.9. Вентиляция крыш

Вентилирование подкровельного слоя выполняется от карниза до конька. По оценкам специалистов, учитывая значительный уклон воздушного пространства, этот зазор должен достигать 60 мм [23]. В состав изоляционного слоя (особенно многослойного) в обязательном порядке входит пароизоляция, препятствующая проникновению парообразной влаги в толщу утеплителя. Поэтому пароизоляционный слой следует размещать с тёплой (внутренней) стороны утеплителя, т.е. между утеплителем и слоем декоративной обшивки.

Для снижения риска образования «парникового эффекта» и, учитывая наличие вентилируемого пространства, нецелесообразно применять очень эффективные изолирующие слои типа поливинилхлоридной пленки.

В странах ЕС для этой цели применяют специальные рулонные материалы с односторонней проводимостью, которые одновременно служат и ветровой защитой (рис. 20).

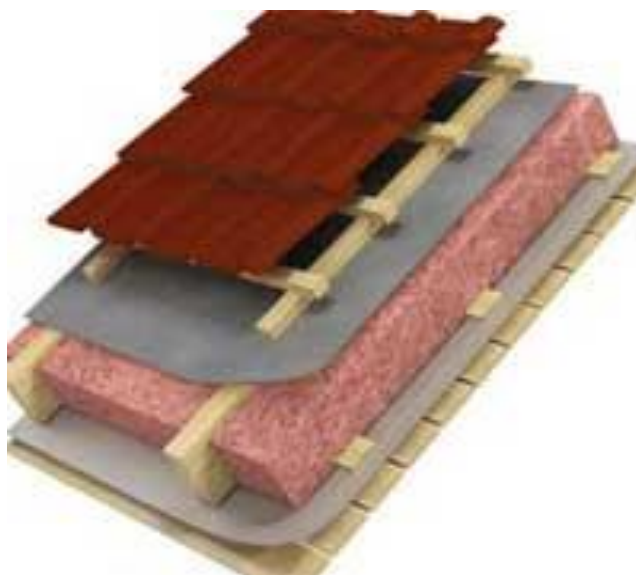


Рис. 20. Кровельный материал с односторонней проводимостью

9.10. Тепловая изоляция зданий и сооружений

Проблема утепления жилища возникла, пожалуй, одновременно с зарождения самого искусства строительства. Известно, что уже в каменном веке первобытные люди строили землянки, потому что знали – покрыв дом сверху слоем рыхлой земли, можно сделать его теплее. Современная же строительная наука предлагает нам множество материалов, способных сделать жилище уютным и теплым, не потратив при этом лишних трудов и денег.

Одной из важнейших задач энергосбережения зданий является сохранение тепла в холодное время, которое в России может составлять большую часть года. Грамотная теплоизоляция стен, кровли и коммуникаций важна в плане энергосбережения, что приводит к большой экономии финансовых средств, затрачиваемых на содержание жилья.

Теплоизоляция частных жилых домов должна начинаться ещё на стадии строительства и быть комплексной – от фундамента и стен до крыши.

Наибольший эффект энергосбережения достигается благодаря применению современных минеральных и органических утеплителей. К ним относятся: минвата, базальтовые плиты, пенополиуретан, пенополистирол, стекловолокно и многие другие, имеющие различные коэффициенты теплопроводности, влияющие на толщину теплоизоляции.

Энергосберегающие конструкции должны быть, во-первых, прочными, жёсткими и воспринимать нагрузки, т.е. быть несущей конструкцией, а во-вторых, должны защищать внутреннее пространство от дождя, жары, холода и других атмосферных воздействий, т.е. обладать низкой теплопроводностью, быть водостойкими и морозоустойчивыми [7].

В природе не существует материала, который удовлетворял бы всем этим требованиям. Для жестких конструкций идеальным материалом являются металл, бетон или кирпич. Для теплоизоляции годится только эффективный утеплитель, например, минеральная (каменная) вата. Поэтому для того, чтобы ограждающая конструкция была прочной и теплой, используют композицию или комбинацию как минимум двух материалов – конструкционного и теплоизоляционного.

Композиционная ограждающая конструкция может быть представлена в виде нескольких отличных друг от друга систем:

1) жёсткий каркас с заполнением межкаркасного пространства эффективным утеплителем;

2) жёсткая ограждающая конструкция (например, кирпичная или бетонная стена), утеплённая со стороны внутреннего помещения – так называемое внутреннее утепление;

3) две жёсткие пластины и эффективный утеплитель между ними, например, «колодезная» кирпичная кладка, железобетонная панель «сэндвич» и т. д.;

4) тонкая ограждающая конструкция (стена) с утеплителем с внешней стороны – так называемое внешнее утепление.

Применение той или иной системы ограждающей конструкции определяется конструктивными особенностями модернизируемого здания и технико-экономическими расчетами, основанными на приведенных затратах.

Стоимость утепления 1 м² наружной стены колеблется от \$ 15 до 50 без учёта стоимости заполняемых оконных блоков, модернизации систем вентиляции и отопления. Тем не менее, потенциал энергосбережения при эксплуатации существующего жилого фонда достаточно велик и составляет около 50 %.

Каждая из этих конструкций имеет свои достоинства и недостатки, и выбор её зависит от многих факторов, включая местные условия.

Наиболее эффективным представляется четвёртый тип утепления здания (внешнее утепление), который наряду, естественно, с недостатками обладает рядом существенных достоинств, а именно:

- надежная защита от неблагоприятных внешних воздействий, суточных и сезонных температурных колебаний, которые ведут к неравномерной деформации стен, вызывающей образование трещин, раскрытие швов, отслоение штукатурки;

- невозможность образования на поверхности стены какой-либо поверхностной флоры из-за избытка влаги и льда, образовавшегося в толще стены или под воздействием конденсата, поступающего из внутренних помещений, и влаги, проникшей внутрь массива ограждающих конструкций из-за повреждения поверхностного защитного слоя;

- препятствование охлаждению массива ограждающей конструкции до температуры точки росы и, соответственно, образованию конденсата на внутренних поверхностях;

- снижение уровня шума в изолируемых помещениях;

- отсутствие зависимости температуры воздуха во внутренних помещениях от ориентации здания, т.е. от нагрева солнечными лучами или охлаждения ветром.

Для устранения теплопотерь в старых зданиях разработаны и осуществляются различные проекты теплотехнической реконструкции и утепления, например, так называемая термошуба, представляющая собой многослойную конструкцию из различных материалов [7].

9.10.1. Утепление стен

Большая часть тепла теряется через стены дома. В среднем через каждый квадратный метр обычной стены за год может теряться 150-160 кВт тепловой энергии. Поэтому утепление наружных стен здания приводит к следующим, несомненно, положительным моментам: экономия времени и средств на обогрев помещений; дополнительное укрепление конструкции

дома; увеличение вариантов оформления фасадов зданий за счёт применения различных материалов.

Сегодня уже никто не строит домов с толстыми стенами – к проблеме энергосбережения подходят по-другому.

Для начала необходимо разобраться, какую часть стены целесообразно утеплять – внутреннюю или наружную. Если утеплить внутреннюю поверхность стены, то под слоем утеплителя может выпасть конденсат, что приведет к образованию грибка, а скопившаяся в порах стены влага при замерзании будет постепенно разрушать стену, что впоследствии приведет к необходимости ремонта. Следовательно, утепление жилого дома целесообразно производить снаружи.

В качестве наружной теплоизоляции чаще всего используются следующие утеплители:

- керамзит, представляющий собой обожжённую глину, вспененную особым методом – достаточно дешёвый, доступный и долговечный утеплитель, используемый как заполнитель пустот и в виде засыпки;
- базальтовое волокно – отличается высокой механической прочностью, огнестойкостью и биологической устойчивостью;
- вспененный полиэтилен – очень эффективный и долговечный утеплитель, обладающий благодаря своей ячеистой структуре высокими тепло- и гидроизолирующими свойствами;
- пенополиуретан – неплавкая теплоизоляционная пластмасса, получаемая путём смешивания двух компонентов и отличающаяся высокой ценой и долговечностью.

Применяются различные способы наружного, или фасадного, утепления:

- мокрый метод;
- сухой метод;
- система вентилируемого фасада.

Мокрый, или штукатурный, метод наиболее приемлем для владельцев загородного жилья. Технология исполнения его следующая: в первую очередь, для усиления сцепления клея со стеной и для связки частиц пыли поверхность стены грунтуется. Затем с помощью цементно-клеевых растворов на стену наклеивается утеплитель, который дополнительно фиксируется к стене дюбелями с тарельчатой головкой. Сверху на утеплитель на тот же клеевой раствор наклеивается армированная стеклосетка, необходимая для предотвращения растрескивания штукатурки. Поверх сетки наносится слой декоративной штукатурки [38].

Сухой метод представляет собой обшивку стен дома сайдингом или вагонкой. Технология обшивки достаточно проста, хотя есть и некоторые тонкости. На стене дома крепится обрешётка из брусков, толщина которых должна соответствовать толщине утеплителя, а сами бруски должны набиваться на стену с шагом, равным ширине листа утеплителя. Затем утеплитель вкладывается в обрешётку и фиксируется к стене с помощью клея

или тарельчатых дюбелей. Сверху утеплитель закрывается диффузионной мембраной, которая позволяет выводить наружу пар и влагу, образующиеся под утеплителем на границе температур, но не позволяет влаге извне проникать в дом. Мембрана крепится к обрешётке с помощью степлера. Для образования вентиляционного зазора сверху нашиваются бруски, по которым уже ведётся обшивка сайдингом.

Система вентилируемого фасада состоит из под облицовочной конструкции, на которую крепится защитно-декоративное покрытие – алюминиевые панели, стальные компоненты облицовки, керамогранит и т.д. Система устроена таким образом, что между защитной облицовкой и слоем утеплителя существует зазор, в котором благодаря перепаду давлений образуется поток воздуха, не только являющийся дополнительным буфером на пути холода, но и обеспечивающий вентиляцию внутренних слоев и удаление влаги из конструкции. Утепление жилого дома с применением такой системы является самым дорогим, но при этом можно добиться ощутимой экономии на системах кондиционирования и отопления.

Утепление помещений изнутри имеет как положительные, так и отрицательные стороны. К плюсам относится то, что при этом не требуется изменять конструкцию здания, работать можно в любое время года и утеплять не все площади помещений, а только самые уязвимые места. Минусы – уменьшение полезной площади помещений и увеличение вероятности образования конденсата в холодное время года.

Одним из слабых мест в системе теплоизоляции дома можно назвать окна и входные двери. Грамотное утепление дверей способно уменьшить теплопотери помещения на 25-30 %. Выбор качественного утеплителя для входной двери является залогом успеха в борьбе за экономию энергоресурсов.

Большая часть потерь тепла происходит от некачественного примыкания полотна двери к дверной коробке (лутке) при закрытии. В образовавшиеся, невидимые невооружённым взглядом щели внутрь помещения попадают холодные массы наружного воздуха. В особенности это присуще деревянным дверям и объясняется отсутствием надежных уплотнителей. В связи с тем, что дерево имеет свойство менять свои геометрические размеры (усыхает, разбухает), необходимы материалы, обеспечивающие надежную герметизацию притвора двери.

Наиболее доступными и дешёвыми являются поролоновые уплотнения, однако этот материал нельзя назвать оптимальным выбором. Поролон сам по себе недолговечен, он очень чувствителен к воздействию влаги. На интенсивно эксплуатируемой двери применение его нежелательно. Его вполне можно использовать, например, на балконной двери, при условии, что она будет редко открываться в зимний период.

В настоящее время широкое распространение получили профильные резиновые уплотнения на самоклеящейся основе, отличающиеся большей долговечностью и надежностью, что вполне подходит для входных дверей.

При монтаже стоит учитывать толщину уплотнения, так как при использовании излишне толстого уплотнения возможны трудности с закрыванием двери.

Практически единственным способом утепления деревянной двери является её обивка. В качестве утеплителей в данном случае обычно применяются вата, поролон и изолон.

Вата в последнее время существенно сдаёт свои позиции. Несмотря на хорошие теплоизоляционные свойства, её применение объясняется в основном традициями, поскольку ещё недавно вата была практически единственным теплоизоляционным материалом. Следует отметить, по крайней мере, два существенных недостатка. Во-первых, вата довольно быстро скатывается по дверному полотну и смещается вниз, во-вторых, она является благодатной средой для обитания различных вредителей, способных нанести непоправимый вред деревянной конструкции.

Поролон – искусственный материал, часто применяемый в качестве теплоизолятора. Основным недостатком является недолговечность – под воздействием влаги он разлагается в течение двух-трех лет, поэтому его применение целесообразно в сухих внутренних помещениях.

Изолон – современный теплоизолирующий материал, который, несмотря на более высокую стоимость, оптимально подходит для утепления дверей. Этот эластичный вспененный полиэтилен выпускается в огромном диапазоне по толщине и плотности и отличается долговечностью и высокими показателями тепло- и звукоизоляции.

Применение минеральных утеплителей нецелесообразно, так как они не смогут поддерживать объём под воздействием наружной обшивки.

В качестве обивочного материала, в зависимости от вкуса и финансовых возможностей, применяются кожа, дермантин и различные типы кожзаменителей.

Утеплители для металлической входной двери также разнообразны. Стандартные металлические двери обычно поставляются без внутреннего утеплителя. В качестве внутренних утепляющих материалов обычно применяются минеральные утеплители и пенопласт, как экструдированный, так и неэкструдированный.

Пенопласт (пенополистирол) обладает небольшой гигроскопичностью и низкой теплопроводностью. Экструдированный пенопласт к тому же не горит.

Минеральные утеплители – пожаробезопасны, обеспечивает надежную тепло- и звукоизоляцию. Желательно применение материала с высокой плотностью.

Существующий выбор утеплителей позволяет существенно снизить теплопотери и способствовать решению проблемы энергосбережения.

Характеристики утеплителей. Главное предназначение утеплителя – «помогать» конструкционным материалам стен, крыши, перекрытий дома поддерживать внутри помещения постоянную температуру, т.е. не

пропускать в дом холод (или, наоборот, жару), и не выпускать из него тепло (прохладу). Поэтому основной характеристикой утеплителя является сопротивление теплопередаче (термическое сопротивление), которое зависит от состава и структуры материала.

Помимо сопротивления теплопередаче, все типы утеплителя обладают и другими характеристиками, важными для монтажа и последующей эксплуатации:

- гидрофобность – способность утеплителя намокать или поглощать воду или, наоборот, отталкивать её. От степени гидрофобности зависит и теплопроводность, так как теплопроводность воды значительно выше, чем воздуха. Например, минеральная плита при впитывании в себя около 5 % влаги, уменьшает свои способности по сопротивлению теплопередаче в 2 раза;

- огнестойкость – способность сопротивляться воздействию больших температур или открытому пламени. Это очень важный показатель, так как определяет область применения того или иного утеплителя и конструкционные особенности дома;

- прочие показатели: долговечность, устойчивость к механическому воздействию, химическая стойкость, экологичность, плотность, звукоизоляция и т.д.

Типы утеплителей. В зависимости от характеристик все типы утеплителей можно подразделить на следующие типы:

- сыпучие (шлак, керамзит, вермикулит и т.д.) – существуют в виде мелких кусочков или гранул, которые засыпаются в пустоты в стенах или перекрытиях. Пустоты между гранулами и определяют сопротивление теплопередаче. Они дешёвы, но недолговечны (с течением времени спрессовываются или разрушаются), хорошо поглощают воду (гидрофильные), поэтому их применение ограничено – обычно это отсыпка подвала или чердачного перекрытия;

- рулонные материалы – обычно состоят из ваты неорганического происхождения (стекловата, минеральная или базальтовая вата) либо мягкого органического материала (пенофол), которому характерно высокое сопротивление теплопередаче. Используются повсеместно как для вертикальных, так и для горизонтальных поверхностей. Сочетание «гидрофобность/огнестойкость» варьируется в зависимости от материала: минеральная вата не горит, но легко впитывает влагу, а органика – водоотталкивающий, но горючий материал;

- плитные материалы – при их изготовлении используется опять же минеральная вата, органические материалы (полиэтилен, полиуретан, пенопласт, полистирол) или древесные стружки (ДВП, древесно-цементные плиты). Имеют высокую степень жесткости, поэтому, в основном, применяются для конструкционного утепления стен и перекрытий;

- материалы на основе ячеистого бетона (пенобетон, газосиликатные блоки и т.д.). Их отличает высокая твёрдость и прочность, что позволяет

использовать их также в качестве конструкционных материалов. Однако, ячеистые бетоны сильно подвержены воздействию влаги и, намокнув, быстро разрушаются, поэтому могут применяться только в сочетании с другими утеплителями;

– пенообразные – сравнительно новый класс утеплителя. Обычно это органическое вещество (пенополиуретан и т.п.), которое поставляется на строящийся объект в виде жидкой пены и наносится непосредственно на утепляемую поверхность или в пустоты. В течение нескольких минут пена твердеет, образуя сравнительно жесткий пористый материал. Характеризуются достаточно хорошими тепло- и гидроизоляционными характеристиками.

9.10.2. Утепление кровли

Через крышу здания уходит до 10 % тепла, поэтому её утепление является также важным для энергосбережения всего дома.

При утеплении плоских крыш к теплоизоляции предъявляются высокие требования по прочности на сжатие, на разрыв, теплопроводности и удельному весу. Данным требованиям в большой степени соответствуют плиты из экструдированного пенополистирола. Они с успехом применяются на любых типах плоских кровель: эксплуатируемых и неэксплуатируемых, облегчённых и традиционных. Ещё одним важным свойством этого материала является его малое водопоглощение, что положительно влияет на стабильность его теплоизоляционных качеств.

На скатных крышах могут использоваться все те же утепляющие материалы, что и для стен.

Пенополиуретан как современный теплоизоляционный строительный материал можно применять для теплоизоляции:

- стыков наружных стен;
- зазоров между оконными и дверными блоками;
- пола первого этажа;
- перекрытий над неотапливаемыми помещениями;
- наружных стен;
- крыши (особенно тех крыш, нагрузки на которые должны быть минимальны).

Предлагаются два метода пенополиуретановой изоляции крыш [16]:

- укладка изоляционных плит из твёрдого пенополиуретана со ступенчатым фальцем;
- напыление пенополиуретана непосредственно на поверхность крыши.

Наиболее перспективным считается второй метод (рис. 21).



Рис. 21. Напыление пенополиуретана

Основная идея такого подхода состоит в том, что помимо напыления теплоизоляции производится герметизация крыши, тогда как в случае обычной плоской крыши надо было бы уложить несколько слоев различных материалов, выполняющих разные функции. При реконструкции крыш теплоизоляцию напылением пенополиуретана можно нанести даже без предварительного демонтажа крыши.

Температурная стойкость напыляемых материалов для плоских крыш составляет от -60 до $+120$ °С, поглощение воды материалом составляет около 2 % по объёму. Практика показывает, что после непрерывного интенсивного дождя (8 ч) вода не проникает вглубь пенополиуретанового покрытия. Теплопроводность пенополиуретанового напыления лежит в пределах 0,023-0,03 Вт/(м·К).

При использовании твёрдого пенополиуретана на его наружной поверхности образуется корка, которая под воздействием ультрафиолетового излучения со временем приобретает коричневый цвет, при этом механические свойства пенополиуретанового покрытия не изменяются.

Для повышения стойкости к погодным условиям наружная поверхность пенополиуретана должна быть защищена от ультрафиолета либо с помощью окраски, либо засыпкой из гравия толщиной не менее 5 см.

9.10.3. Утепление коммуникаций

Кроме стен и крыши, для наилучшего энергосбережения здания необходимо утеплять коммуникационные системы здания. Систему снабжения холодной водой и канализацию надо защищать от замерзания, трубы с горячей водой – для уменьшения тепловых потерь. Современные

теплоизоляционные материалы для труб позволяют эффективно решить эту задачу.

Существует множество решений выполнения теплоизоляции, все они зависят от условий эксплуатации трубопровода. Наиболее распространены следующие типы термоизоляция:

- утеплитель из вспененного полиэтилена – наиболее часто используемый и дешёвый материал. Выпускается в виде труб диаметром от 8 до 28 мм. Монтаж не вызывает никаких трудностей: заготовка просто режется по продольному шву и надевается на трубу. Для повышения теплоизолирующих свойств этот шов, а также поперечные стыки склеиваются специальной лентой. Применяется в бытовых условиях для теплоизоляции всех типов трубопроводов, даже в морозильном оборудовании;

- пенополистирол, более известный как пенопласт. Утеплитель из этого материала в быту называют скорлупой (из-за особенностей конструкции). Изготавливается в виде двух половин трубы, соединяющихся посредством шипа и паза. Выпускаются заготовки различного диаметра, длиной около 2 м. Благодаря своим свойствам сохраняет рабочие характеристики до 50 лет. Отличается высокой термоустойчивостью в условиях как высоких, так и отрицательных температур. Разновидностью пенопласта является пеноизол – имеет те же технические характеристики, но отличается методом укладки. Пеноизол – это жидкий теплоизолятор, который наносится методом распыления, благодаря чему возможно получение герметичных поверхностей;

- минеральные ваты. Эти теплоизоляционные материалы для труб отличаются повышенной огнестойкостью и пожаробезопасностью. Получили широкое применение при изоляции дымоходов, трубопроводов, температура которых достигает 600-700 °С. Утепление минеральной ватой больших объемов нерентабельно вследствие высокой стоимости материала.

Существуют и альтернативные способы снижения теплопотерь, за которыми, возможно, будущее:

- *предизоляция*. Заключается в обработке трубных заготовок пенополиуретаном в заводских условиях, на стадии производства. К потребителю труба поступает уже защищённой от возможных теплопотерь. При монтаже остаётся утеплить только стыки труб;

- *краска, обладающая теплоизоляционными свойствами*. Сравнительно недавняя разработка учёных. В её состав входят различные наполнители, придающие уникальные свойства. Даже тонкий слой такой краски способен обеспечить теплоизоляцию, которая достигается большим объемом пенопласта, минеральной ваты и другими материалами. Легко наносится на поверхность, позволяет обработать коммуникации даже в труднодоступных местах. Помимо всего прочего, обладает антикоррозийными свойствами.

Современные теплоизоляционные материалы применяются на различных трубопроводных линиях. Они способны работать как при высоких температурах, так и в крайне жестких условиях вечной мерзлоты.

Применение теплоизоляции позволяет достичь следующих результатов:

- снижение утечек тепловой энергии на линиях отопления и горячего водоснабжения;
- защита различных трубопроводов от перемерзания в условиях отрицательных температур;
- повышение срока эксплуатации сетей благодаря снижению агрессивного воздействия окружающей среды;
- в холодильных установках и системах кондиционирования значительное снижение затрат на поддержание требуемой температуры;
- снижение риска получения травм и ожогов от контактов с горячей или холодной поверхностью.

Применение высококачественной теплоизоляции трубопроводов позволяет повысить срок безаварийной работы коммуникаций и окупается в течение нескольких лет эксплуатации.

9.10.4. Тепловые мостики

Мероприятия по теплоизоляции эффективны только в тех случаях, когда обеспечено отсутствие тепловых мостиков и негерметичных стыков.

Под «тепловыми мостиками» понимаются такие слабые звенья в теплоизоляции, через которые вследствие геометрических особенностей или конструктивных недостатков происходит утечка большого количества тепла через участки небольшой площади [36].

Геометрические тепловые мостики появляются, например, не только в эркерах и слуховых окнах, но и в области наружных кромок здания.

Конструктивные тепловые мостики появляются, прежде всего, в местах соединения различных конструктивных элементов и на линиях пересечения их поверхностей. В ходе реконструкции их следует по возможности устранять, а при добавлении новых конструктивных элементов – избегать.

Чем лучше теплоизолирована поверхность конструктивного элемента здания, тем сильнее проявляется эффект от возникновения тепловых мостиков. Этот эффект приводит не только к нежелательным утечкам тепла, но и к повреждению здания, если тепловые мостики находятся на холодных поверхностях, поскольку в этом месте происходит конденсация влаги и образование плесени.

Чтобы избежать появления тепловых мостиков, необходимо принимать следующие меры:

- теплоизоляция должна устанавливаться плотно, так, чтобы избежать утечек, причем особое внимание следует уделять утеплению стыков, где

конструктивные элементы соединяются между собой или проходят друг через друга;

- взаимопроникающие и выступающие конструктивные элементы (например, балконные плиты) в любом случае должны быть покрыты изолирующим материалом со всех сторон;

- несущие конструкции, подвергающиеся повышенной тепловой нагрузке (изготовленные из стали, бетона или древесины), должны быть снабжены дополнительной теплоизоляцией.

9.11. Тепловые потери при теплоснабжении производственных помещений

Теплоснабжение производственных помещений (цехов) всегда считалось задачей неординарной, поскольку они, как правило, занимают огромные площади (от нескольких сотен до нескольких тысяч квадратных метров) и высоту до 14-18 м. Рабочая (обитаемая) зона производственных зданий составляет всего 20-30 % их общего объема, которые требуют поддержания комфортных условий. Таким образом, нагрев 70-80 % воздуха, находящегося над рабочей зоной, можно отнести к прямым потерям [7].

Общеизвестно, что удержать теплый воздух внизу невозможно и его температура от пола к потолку возрастает на 1,5 °С на каждый метр высоты. Например, в зданиях высотой 12 м при средней температуре внизу (в рабочей зоне) 15 °С под крышей воздух нагревается до 30 °С. Такой перегрев внутреннего воздуха зданий приводит к резкому возрастанию тепловых потерь через наружные ограждения, верхние перекрытия, стены, световые проемы и фонари.

К этому следует добавить и большие затраты энергии на перемещение значительных масс воздуха с помощью вентиляторов, поскольку основным способом отопления производственных помещений является воздушное. Отопить даже среднее производственное помещение с помощью водяной или паровой системы весьма проблематично и в большинстве случаев невозможно, поскольку для этого потребуются трубопроводы, которые будут перекрывать всё помещение и создавать серьёзные неудобства.

Вместе с удаляемым нагретым воздухом из верхней зоны промышленных зданий с помощью вытяжных вентиляторов выбрасывается большое количество теплоты. Для её утилизации целесообразно применять приточно-вытяжные установки с теплоутилизаторами.

Потери тепла в производственных зданиях и сооружениях зависят и от принятого режима работы предприятия. Например, при работе в две смены рабочее время за отопительный сезон составляет около 5000 ч, из которых собственно рабочими являются не более 2300 ч, или 46 % календарного времени. Все остальные 2700 ч предприятия вынуждены отапливать здания, в которых никто не работает.

Перевод системы отопления в дежурный режим сложен, малоэффективен и небезопасен из-за возможных резких перепадов температур, создающих угрозу размораживания системы при высоких суточных колебаний температуры.

9.12. Системы газового лучистого отопления

Одним из возможных путей снижения затрат тепла на отопление больших производственных зданий может быть децентрализация системы теплоснабжения по теплоносителю (воде и пару) посредством внедрения систем газового лучистого отопления (СГЛО) и газовых воздухонагревателей (рис. 22) [46].

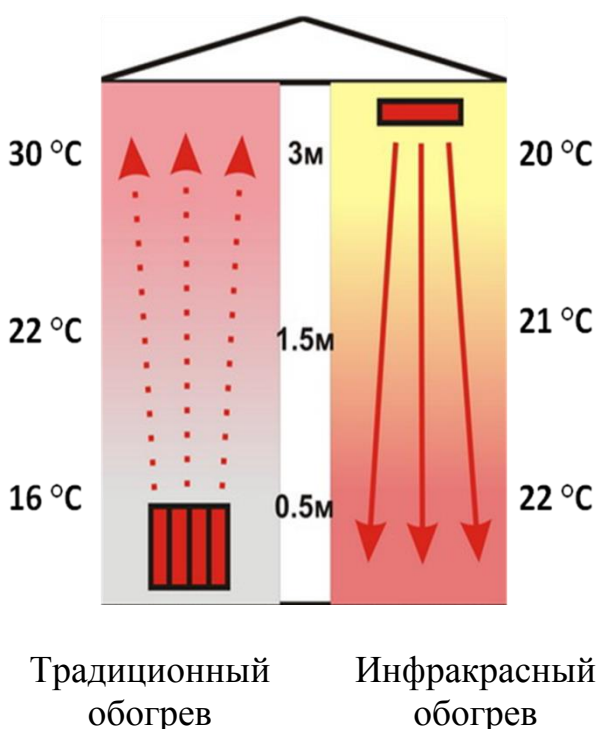


Рис. 22. Распределение температур при традиционном и инфракрасном обогреве

Лучистое отопление – это передача тепла от более нагретых поверхностей к менее нагретым посредством инфракрасного излучения. Поток энергии, направляемый лучистыми обогревателями, установленными непосредственно над обогреваемой зоной, нагревает не окружающий воздух, а рабочую поверхность (например, пол), установленное в обслуживаемой зоне оборудование и людей, что создаёт дополнительный комфорт и снижает тепловые потери.

Перевод систем отопления зданий по указанной схеме требует осуществления определенных организационных и технических решений.

Для снижения затрат теплоты на нагрев воздуха, поступающего через проемы в стенах общественных зданий, а также для многоэтажных жилых домов применяют воздушно-тепловые завесы. Во многих случаях целесообразно устройство тамбура.

9.13. Окна и остекление зданий

Окна в зданиях, обладая необходимыми теплозащитными качествами, должны обеспечивать требуемый световой комфорт в помещении и иметь достаточную воздухопроницаемость для естественной вентиляции.

Действующие нормативы устанавливают следующие требования к окнам жилых зданий:

- термическое сопротивление теплопередаче не менее $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;
- сопротивление воздухопроницанию - не менее $0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$;
- механические показатели и другие требования зависят от конструкции и материалов, из которых изготовлен оконный блок [7].

По конструкции все окна состоят из светопропускающих и непрозрачных частей. В качестве заполнения светопропускающей части окон используют стеклопакеты и стёкла различной толщины.

Придание стеклу энергосберегающих свойств связано с нанесением на его поверхность низкоэмиссионных оптических покрытий, а само стекло получило название низкоэмиссионного. Эти покрытия обеспечивают прохождение в помещение коротковолнового солнечного излучения, но препятствуют выходу из помещения длинноволнового теплового излучения (например, от отопительного прибора). Поэтому стекла с низкоэмиссионными покрытиями называют «селективными стеклами» [22, 50].

Характеристикой энергосбережения является излучательная способность (эмиссия) стекла, под которой понимают способность стеклянной поверхности пропускать коротковолновое солнечное излучение и отражать длинноволновое, не видимое человеческим глазом тепловое излучение (рис. 23).

Численной характеристикой излучательной способности стекла является эмисситент поверхности E – чем ниже эмисситент, тем меньше потери тепла. У обычных стёкол E составляет 0,83, а у селективных – 0,04 и даже ниже, т.е. свыше 90 % тепловой энергии отражается обратно в помещение (рис. 24).

В настоящее время в качестве энергосберегающих наибольшее распространение получили два типа покрытия: К-стекло (Low-E) – твёрдое низкоэмиссионное покрытие и I-стекло (Double Low-E) – мягкое низкоэмиссионное покрытие [16].

Стёкла с такими покрытиями полностью прозрачны для видимого спектра света, но отражают инфракрасное излучение, что приводит к значительному повышению теплоизоляционных свойств стеклопакета.

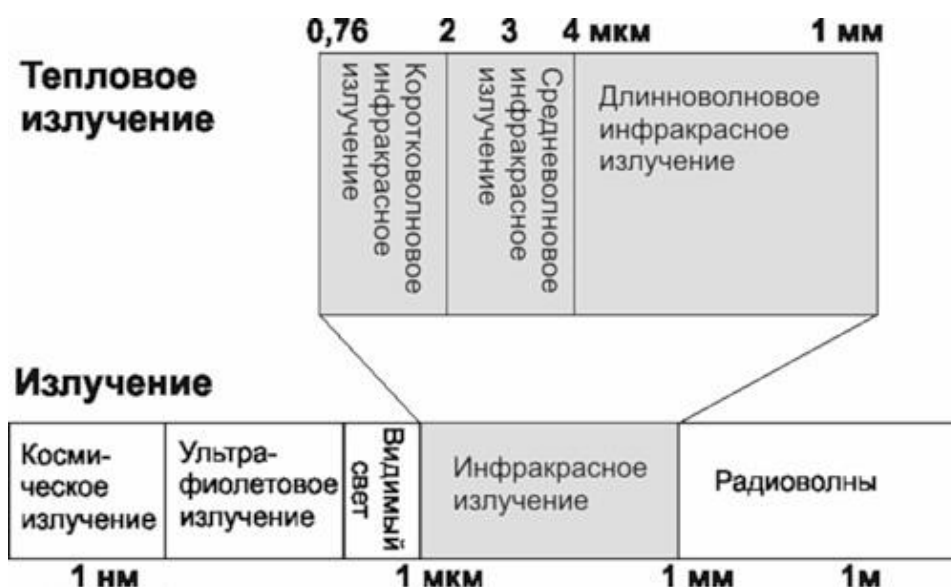


Рис. 23. Электромагнитный спектр излучения

За время отопительного сезона энергосберегающий эффект от оконной конструкции средних размеров, остеклённой стеклопакетами с I-стеклом в составе, эквивалентен сжиганию жидкого топлива (мазут, солярка) общей массой до 300 кг.

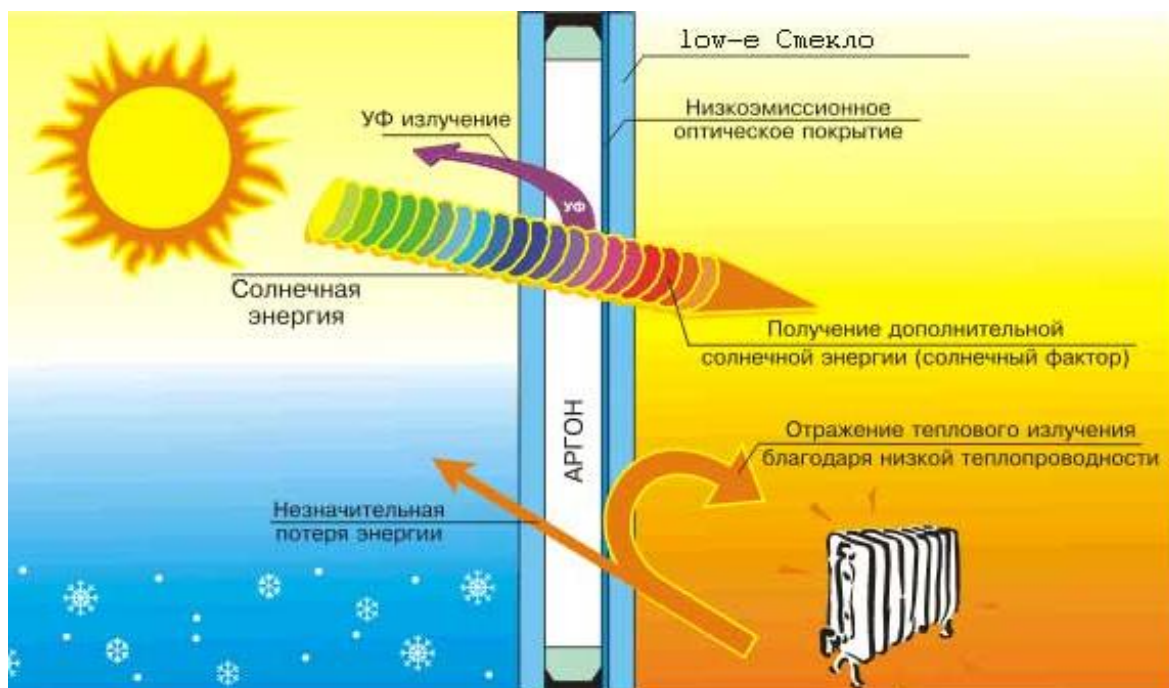


Рис. 24. Принцип действия энергосберегающего стекла

К-стекло практически невозможно отличить невооруженным взглядом от обычного стекла. Главными преимуществами К-стёкол являются устойчивость энергосберегающего покрытия к атмосферным воздействиям, возможность закаливания и ламинирования.

I-стекло по своим теплосберегающим качествам в 1,5 раза превосходит К-стекло. Однако технология нанесения покрытия требует использования дорогостоящего оборудования с системой магнетронного напыления.

К недостаткам можно отнести то, что I-стёкла не являются стойкими к атмосферным воздействиям и поэтому используются только в стеклопакетах.

Применение энергосберегающих стеклопакетов помогает снизить затраты на отопление или кондиционирование помещений. Главным параметром, определяющим теплоизоляционные свойства, является коэффициент термического сопротивления R – величина, обратная коэффициенту теплопередачи.

Ниже приведены значения R для различных конструкций ($\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$):

- обычное стекло – 0,17;
- обычный однокамерный стеклопакет – 0,34;
- стеклопакет с тремя стёклами – 0,47;
- однокамерный стеклопакет с К-стёклами – 0,54;
- однокамерный стеклопакет с I-стёклами – 0,76;
- однокамерный стеклопакет с I-стёклами с заполнением камеры аргоном – 0,9 (рис. 25) [33].

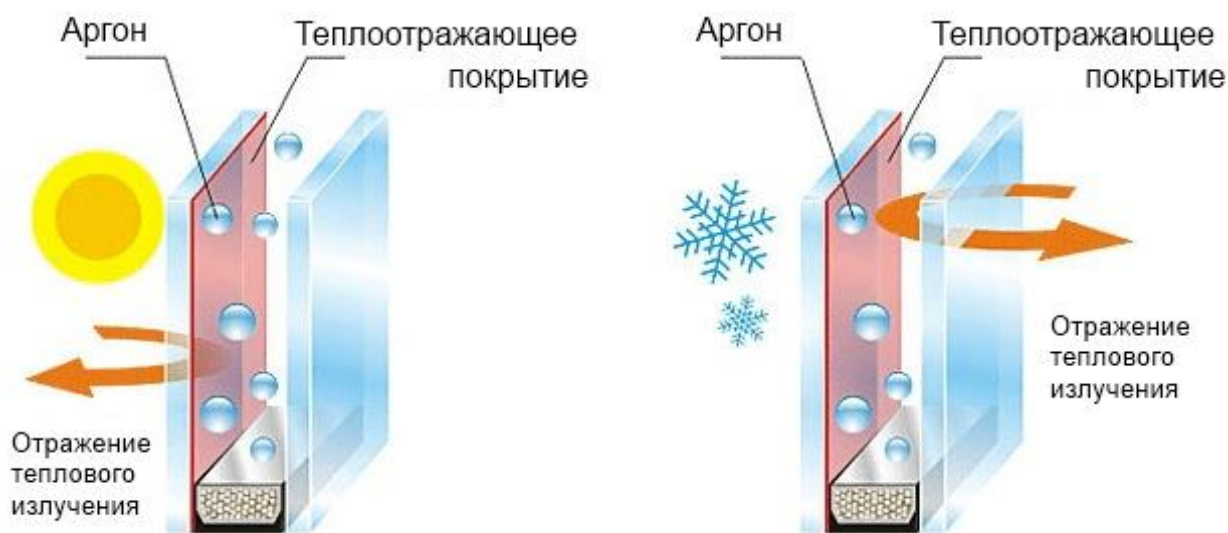


Рис. 25. Однокамерный стеклопакет с нанесением теплоизоляционного покрытия и заполнением межкамерного пространства аргоном

Применяемые в настоящее время в России окна можно условно разделить на три группы:

- деревянные окна;
- окна из поливинилхлоридного профиля (ПВХ профиля);
- окна из алюминиевого профиля.

Деревянные окна выпускаются, в основном, двух видов:

- оконные блоки типа ОЗС с толщиной коробки 100-140 мм с тройным остеклением или стеклопакетом (рис. 26). Сопротивление воздухопроницаемости значительно меньше, чем у окон алюминиевого и ПВХ профилей;

- оконные блоки толщиной коробки менее 100 мм с однокамерным или двухкамерным стеклопакетом (возможно наличие энергосберегающих покрытий и заполнение межкамерного пространства аргоном).



Рис. 26. Деревянные оконные блоки

Окна отличаются высоким качеством изготовления и, как следствие, высокой ценой. Частично импортируются из Финляндии, Германии или Швеции. Древесина обрабатывается специальной защитной пропиткой от влаги, насекомых и воздействия солнца. В окнах весьма точная подгонка деталей, коробка и створки со временем почти не дают усадки.

Окна из ПВХ профиля (рис. 27) с различными видами стёкол и стеклопакетов имеют два и более специальных воздушных зазора, так называемых камер [29].

В качестве светопропускающей части используются, как правило, однокамерные и двухкамерные стеклопакеты с применением энергосберегающих стекол (в основном, «К-стекло»). Для повышения сопротивления теплопередаче пространство между стёклами в стеклопакете заполняется инертными газами, чаще всего аргоном.

Окна из трёхкамерного ПВХ профиля имеют очень высокое сопротивление воздухопроницанию (до $9 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$), что ограничивает их использование в жилых зданиях. Для решения этой проблемы фирмы-

производители предлагают различные варианты (вентиляционные клапаны, специальное положение ручки, установку в верхней части оконных коробок или створок специальных вентиляционных плёнок с регулируемой системой для притока воздуха), однако они недостаточно проверены экспериментально.

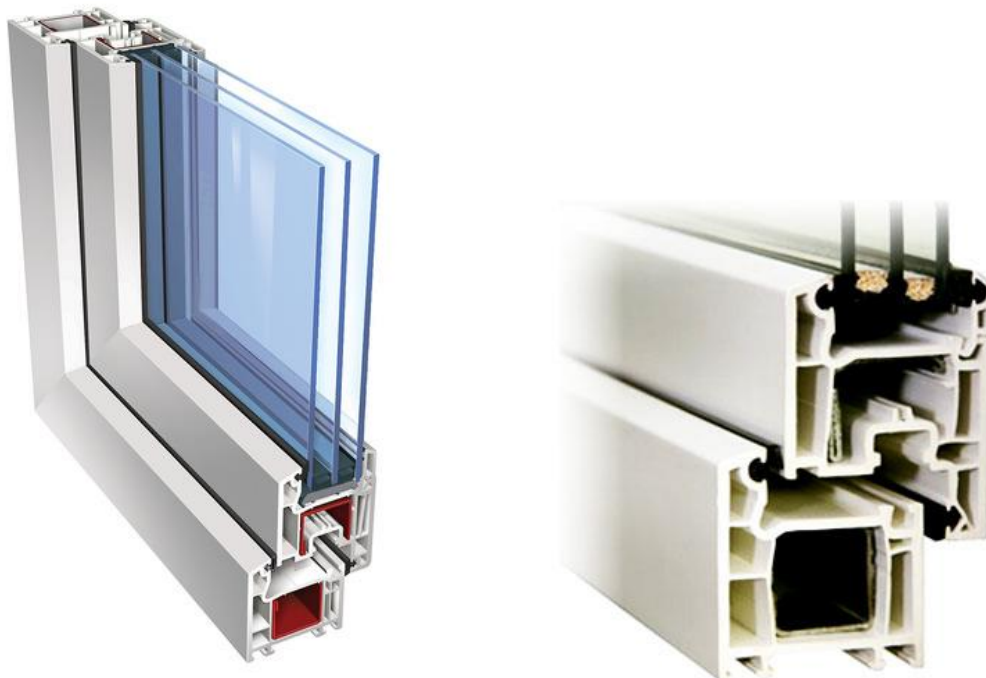


Рис. 27. Окна из ПВХ профиля

Основными преимуществами таких окон являются простота монтажа, герметичность и возможность открытия створок в нескольких плоскостях.

Окна из алюминиевого профиля (в основном это трёхкамерный алюминиевый профиль с термопрокладками) имеют низкое сопротивление теплопередаче ($0,35\text{--}0,42 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$), вследствие чего в холодное время года имеет место конденсация влаги на внутренних поверхностях профиля. Для достижения требуемого сопротивления теплопередаче необходим стеклопакет. Эти оконные блоки также характеризуются очень высоким сопротивлением воздухопроницанию, что ограничивает их применение в зданиях с естественной вентиляцией (рис. 28).

Преимуществами окон из алюминиевого профиля являются:

- практически неограниченная долговечность;
- высокая прочность и устойчивость к деформации и другим воздействиям окружающей среды;
- лучшая ремонтпригодность по сравнению с другими типами окон;
- отсутствие особого ухода.



Рис. 28. Окна из алюминиевого профиля

При любой конструкции окон площадь световых проемов должна быть минимально допустимой по нормам естественной освещенности. Оконные проемы должны обеспечивать световой, тепловой и шумовой комфорт в помещениях и иметь достаточную воздухопроницаемость для работы естественной вентиляции.

При выборе того или иного конструктивного исполнения окон должны учитываться следующие факторы:

- архитектурно-градостроительная и экономическая значимость здания;
- функциональное назначение здания;
- показатели сопротивления теплопередаче и воздухопроницанию.

Профиль окна пассивного дома обязан соответствовать теплотехническим стандартам. Применяются, как правило, одна из двух концептуальных конструкций окон:

- не открывающиеся;
- с автоматической функцией открывания/закрывания для проветривания.

В пассивном доме используются три вида стеклопакетов:

- вакуумные стеклопакеты: 1-камерные (два стекла) или 2-камерные (три стекла), заполненные низкотеплопроводным аргоном или криптоном;
- стеклопакеты, собранные по принципу стеклоблоков;
- стеклопакеты с тёплой дистанцией (дистанционная рамка изготовлена из резины и пластика, при этом категорически не допускается примыкание металла рамки к стеклу).

Применяется более герметичная конструкция примыкания окон к стенам, утепляются оконные проёмы. Стёкла обрабатываются особым образом – закаливаются во избежание теплового шока, покрываются

диоксидной солнцезащитной и энергосберегающей плёнкой. Иногда для дополнительной теплоизоляции на окнах устанавливают ставни, жалюзи или шторы.

Как правило, используются специальные двухкамерные стеклопакеты с коэффициентом теплопроводности (для окна в целом: профиль плюс оконное стекло) $0,77 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Толщина и вес таких окон значительно превышают параметры стандартных. Профиль угловых окон также дополнительно утеплён на их стыке. Их герметичность обеспечивают специальные фартуки. В процессе строительства очень важно точное соединение всех элементов и материалов. Для получения максимальной герметичности применяют специальные ленты для склеивания кровельной плёнки, клеи и изоляционные оболочки, уплотнительные массы для мест прохождения труб сквозь стены пассивного дома.

Установка рольставен (роллет) позволяет увеличить тепловое сопротивление оконного блока на 20-30 % (термическое сопротивление роллетной конструкции $0,18\text{--}0,27 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$) [24].

Самые большие окна направлены на юг (в северном полушарии) и приносят в среднем больше тепла, чем теряют.

9.14. Теплосберегающая низкоэмиссионная плёнка для окон

В последние годы специалисты всего мира ведут борьбу за уменьшение теплопотерь в зданиях. Чтобы тепло не уходило через крышу, утепляют верхнее ограждающее перекрытие. Чтобы стены были теплосберегающими, разрабатывают стеновые строительные материалы с пустотами и микропустотами внутри. Пресекают утечку тепла через окна, монтируя в проёмы металлопластиковые окна с утепляющими прокладками между створками и герметиком между рамой и стеклом. Однако неохваченной остается большая площадь стекол, которая, как известно, должна составлять $1/7\text{--}1/8$, но не меньше $1/10$ от площади комнаты, т.е., чем больше помещение, тем большие по размеру окна должны пропускать в нее свет. Именно стекла, контактирующие с морозом на улице, становятся ледяными, покрываются изморозью и наледями, пропуская холод в помещение.

Для снижения потерь тепла через остекление разработана инновационная технология по производству плёнок с нанесенным на них тончайшим слоем редкоземельных металлов (серебра и платины), благодаря чему снижается теплопропускающая способность защищённого ею стекла (рис. 29). Такая теплозащитная плёнка для окон называется низкоэмиссионной за свою способность понижать эмиссию – передачу тепла.

Теплосберегающая плёнка для окон почти не влияет на светопропускную способность стекла, но способна препятствовать выходу из помещения тепловой энергии. Зимой энергосберегающая плёнка сократит теплопотери через стёкла на 40-50 %. Соответственно, летом такая плёнка не

пропускает тепло уже внутрь помещения, оберегая людей от жары и создавая комфортные условия проживания или работы [37].



Рис. 29. Теплосберегающая низкоэмиссионная плёнка

В сравнении с полной заменой окон можно отметить следующие преимущества оклейки стёкол низкоэмиссионной плёнкой:

- значительное снижение капитальных затрат;
- отсутствие сопутствующих затрат на перевозку и монтаж окон, заделку оконных проемов и т. д.;
- низкоэмиссионная плёнка – это солнцезащита селективного типа, она пропускает в помещение свет видимого спектра, но отражает инфракрасное излучение и, частично, ультрафиолетовое;
- плёнка оберегает стекло от последствий взрыва или удара твёрдым предметом, удерживая стекло в раме и препятствуя его разлетанию на мелкие осколки.

Теплосберегающая плёнка для окон – удобный и выгодный вариант утеплить помещение, не меняя деревянные рамы на современный пластик. Это немаловажно, потому, что пластик совсем не пропускает воздух, оконные рамы «не дышат», и это служит причиной запотевания стёкол и духоты в помещении, которую не преодолеть без кондиционера или постоянного проветривания.

Разумеется, кроме комфортного существования в помещении, где зимой станет теплее, а летом – прохладнее, оклейка стёкол низкоэмиссионной пленкой приносит и экономический эффект.

9.15. Водяной тёплый пол

Водяной тёплый пол – это полноценная система отопления, альтернатива классической радиаторной системе отопления (вопреки бытующему обратному мнению). Система экономит от 20 до 50 % энергии.

Суть технологии водяного теплого пола сводится к монтажу между полом и напольным покрытием сети минитрубопроводов (контуров теплого пола), по которым циркулирует теплоноситель – нагретая вода (температура от 35 до 45 °С) [15]. Поэтому водяной тёплый пол называют еще «низкотемпературной системой отопления». Благодаря этому поверхность пола нагревается и отдаёт своё тепло окружающему воздуху (рис. 30).



Рис. 30. Водяной пол

Система водяного теплого пола обеспечивает равномерный обогрев всей площади помещения: без «горячих» и «холодных» (как у радиаторов) мест, без горизонтального перемещения воздуха и т.п.

Мягкое и ровное тепло, отсутствие сквозняков и переноса пыли, уют и исключительный комфорт, оптимальное распределение температуры, экономичность – всё это позволяет считать тёплый пол системой отопления, близкой к идеальной.

Равномерное распределения тепла, помимо комфорта, позволяет использовать более низкие температуры теплоносителя: в водяных теплых полах она составляет 30-50 °С (в радиаторе 75-95 °С), в зависимости от применяемых покрытий пола, типа укладки трубы, теплопотерь помещения и требуемой тепловой нагрузки.

Таким образом, являясь низкотемпературной обогревательной системой отопления, водяной тёплый пол позволяет дополнительно сэкономить ресурсы на производство тепловой энергии и использовать альтернативные источники энергии, например, тепловые насосы и солнечные коллекторы, которые лучше всего работают с низкотемпературными системами.

По сравнению с традиционными радиаторами температура в помещении может быть снижена на 2 °С (без изменения в ощущении тепла человеком), что обеспечивает сбережение около 12 % потребляемой энергии [39].

Поскольку водяной тёплый пол является системой, работающей на низких температурах, уменьшаются также потери в подающем трубопроводе между источником тепла и потребителем.

Тёплый пол приобрёл широкую популярность ещё в 80-е гг. XX в. и является в настоящее время самой перспективной отопительной системой, обладающей многочисленными техническими и эксплуатационными преимуществами по сравнению с традиционными радиаторными системами.

10. ИННОВАЦИОННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО

Потребление электроэнергии в настоящее время очень иррационально, и, если не найти способы улучшить эти показатели, то мы сами можем спровоцировать непоправимые последствия, которые приведут к глобальной экологической катастрофе. Технологии, которые появятся к 2050 г., должны быть рентабельными и удобными для пользователя, способными кардинально изменить наше будущее и спасти мир от техногенного краха.

По оценкам специалистов, процессы отопления, вентиляции, кондиционирования и освещения зданий приводят к ежегодному выбросу в атмосферу более 100 млн т парниковых газов (главным образом, углекислого газа CO₂) – это прямой путь к загрязнению и глобальному потеплению.

Климатолог, лауреат Нобелевской премии Дэн Кэммэн (Dan Kammen) провёл анализ инновационных технологий, которые способны изменить наши города и обеспечить нам более «светлое» будущее. Исследования проводились в двух направлениях:

- 1) энергосбережение зданий будущего;
- 2) альтернативные источники энергии будущего [55].

Наряду с энергетическими, социальными и экологическими показателями определяющим критерием стал фактор снижения выбросов парниковых газов.

10.1. Здания будущего

Примерно 65 % всей вырабатываемой электроэнергии потребляется зданиями (отопление и пр.). Современные здания чрезвычайно неэффективны, около 1/3 тепла утекает сквозь стены, окна и крышу. Для снижения тепловых потерь жилые и производственные здания должны быть коренным образом перепроектированы. Нас беспокоит глобальное потепление, а тем временем наши дома и офисы обогревают пространство снаружи почти так же, как внутри. Если бы люди могли увидеть мир через призму инфракрасного излучения, то щепетильность во многих вопросах сильно возросла бы.

Тепловизионная съёмка иллюстрирует места наибольшей потери тепла. Такое впечатление, будто все эти здания охвачены пожаром. Одни только

здания теряют 10-15 % мировой вырабатываемой энергии, что эквивалентно 4 млрд баррелей нефти в год. Целые электростанции просто подогревают воздух – невероятное расточительство.

Технологические внедрения способны положить конец тепловым потерям в будущем. Далее будут рассмотрены четыре кардинально различные инновационные технологии энергосбережения зданий:

- аэрогель;
- гибридное солнечное освещение;
- живая зелёная крыша;
- гелиотехнология (нано-фотогальванические элементы).

10.2. Аэрогель

Аэрогель – это один из самых удивительных теплоизоляционных материалов, известных науке. Он сохраняет тепло там, где ему и положено быть, внутри [13].

Есть одно место, где хорошая изоляция жизненно необходима – ледяные просторы космоса. Благодаря теплоизоляционным свойствам аэрогеля космические корабли выдерживают крайне низкую температуру поверхности Марса.

Технический твёрдый аэрогель больше похож на игру света (рис. 31). Люди воспринимают его как «замороженный дым», и в некотором смысле кажется, что он существует лишь мгновения. Это твёрдое вещество, с самой маленькой плотностью сред всех твёрдых веществ, известных на Земле. Зафиксированный рекорд плотности – $1,9 \text{ кг/м}^3$. Аэрогель на целых 99 % состоит из воздуха, он пропускает свет, но практически не пропускает тепло. Такое уникальное свойство вызвано особенностью его структуры.



Рис. 31. Технический твёрдый аэрогель

Аэрогель производится из желеобразного вещества – полужидкого, полутвёрдого – сухая субстанция цепочки диоксида кремния SiO_2 , окружённая спиртом. Чтобы высушить гель, спирт под высоким давлением заменяется сжиженным углекислым газом CO_2 . При снижении давления жидкий диоксид углерода превращается в газ, который улетучивается, оставляя крошечные воздушные включения – в тысячу раз более тонкие, чем паутина. Они сразу же превращаются в «соты зажатого воздухом» тепла.

В 1990-х гг. НАСА провела испытания аэрогеля в самой экстремальной среде солнечной системы – на застывших просторах Марса. Температура на поверхности красной планеты может падать до минус 70°C , что недопустимо для чувствительного оборудования автоматических зондов. Марсианские исследовательские зонды, заключённые в аэрогель, проработали три холодных месяца и передали на Землю потрясающие фотографии.

Аэрогель – лучший из существующих изоляторов, но применение этого современного космического материала в обыденной жизни проблематично: это не только дорогостоящий, но и очень хрупкий материал. Одно нажатие – и аэрогель превращается в пыль, что не позволяет использовать его в какой бы то ни было отрасли промышленности.

Для придания аэрогелю прочностных свойств было найдено простое, но по-своему выдающееся решение – влажный гель покрывается полиэфирным волокном, которое служит остовом для материала, придавая ему прочность и удивительную гибкость. Конечный продукт обладает всё теми же невероятными изолирующими свойствами аэрогеля, но стоит в разы дешевле материала, который летает на Красную планету, что позволяет надеяться на его внедрение в строительную промышленность.

Аэрогелевый покров невероятно эффективен при изоляции стен и крыш. Однако 30 % тепловых потерь зданий происходит через окна. Следующий шаг – сделать аэрогель достаточно прозрачным и прочным, чтобы обеспечить теплоизоляцию окон.

Но пока такие высокотехнологичные окна слишком хрупкие. Стоит грузовику проехать мимо, и от вибрации они разлетятся вдребезги. Ещё одна из сложностей, связанных с аэрогелем, заключается в том, что сейчас он выпускается в виде волокон, поэтому он отнюдь не так удобен, как изоляционный материал, которым мы заделываем щели.

Учёные должны справиться и с этой проблемой, их успех может оказать существенное влияние на решение проблемы энергосбережения в будущем. Лет через 30-40, возможно, аэрогель будет в каждом здании, и станет так же распространён, как сегодня материалы вроде пластика.

Изоляция при помощи аэрогеля – футуристическая идея, но станет ли она лучшим оружием в борьбе с выбросами углекислого газа?

По данным Центра альтернативных технологий (США) чудесный материал будущего снижает уровень выбросов на 29 % [55]. Вполне возможно, что ему под силу снизить потери тепла в мегаполисе будущего.

10.3. Гибридное солнечное освещение

Это ещё одна технология, которая, возможно, будет способна пролить новый свет на жизнь города в будущем.

Днём и ночью здания поглощают энергию, по большей части, на искусственное освещение, затраты на которое эквивалентны такому количеству энергии, что производит в три раза больше углекислого газа, чем вся мировая авиация – освещение потребляет около 20 % мировой энергии.

Круглосуточно в офисах, фабриках, торговых пассажах включается электрическое освещение, в том числе и в дневное время, что является недопустимым расточительством. Основные причины неэффективности традиционных ламп накаливания в том, что они производят главным образом тепло. В действительности только 5 % мощности обычных лампочек преобразуется в свет, а остальные 95 % – потерянное тепло.

Современные коммерческие здания оснащены застеклёнными крышами, огромными окнами, но задёрнутыми шторами, закрывающими естественное освещение.

Возможно ли использовать солнечный свет для обеспечения естественного освещения в каждом тёмном уголке каждого здания всех мегаполисов? Солнечный свет, проникающий в окна – это вариант, но под неправильным углом он слепит, кроме того, он не может проникать во внутренние помещения зданий.

Сконцентрировать солнечный свет и перенаправить лучи туда, где необходимо освещение, можно с помощью системы сферических зеркал, повернутых оптимальным образом. Солнечный коллектор – большое первичное зеркало, предназначенное для концентрации и передачи солнечных лучей на меньшее по размеру вторичное зеркало. Однако большинство зеркал производятся из стекла, а сферические очень дороги.

Ключ к решению – пластик. Пластиковые зеркала – дешёвая альтернатива, но проблема в том, что они плавятся. Задача – спроектировать солнечный коллектор, способный выдерживать температуру 65 °С, при этом он должен проработать не менее 20 лет, чтобы быть рентабельным.

В результате комбинации акриловых волокон с обычной пластмассой получается материал, который выдерживает высокие температуры – пластик, необходимый для изготовления солнечного коллектора.

Пластиковое зеркало стоит \$ 100, в отличие от стеклянных аналогов, которые стоят \$ 3500.

Пластиковое зеркало очень экономично концентрирует свет, но для эффективного функционирования оно должно быть весь день напролёт направлено к солнцу, т.е. фокусироваться на движущейся цели.

Интеллектуальная часть этой технологии – следящая за солнцем система, которая потребляет энергии не больше, чем рождественская гирлянда, но точно определяет место нахождения Солнца. GPS-модуль системы точно устанавливает своё местонахождение на планете в любое

время суток. Используя эти данные, устройство вычисляет точный угол солнечных лучей и его высоту над горизонтом. Целый день небольшой двигатель удерживает тарелку, ориентируясь на Солнце, всегда указывая непосредственно на него и собирая максимальное количество солнечного света.

Получив средство для концентрации света, нужно найти способ направить свет в глубину здания. Существует проверенная технология волоконной оптики, но пластиковое оптическое волокно плавится. Революционная концепция заключается в избирательном накоплении света – нужны безвредные для пластика лучи. Система концентрирует видимый свет, а инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, приводящее к нагреванию и выцветанию, способное расплавить пластик, отфильтровывается.

Оптическое волокно, которое используется в системе гибридного солнечного освещения, чрезвычайно гибкое, дешево стоит и изготовлено из покрытого тефлоном чистого акрила, что позволяет свету эффективно перемещаться по оптоволоконному кабелю от крупного искусственного источника к отдельным светильникам внутри помещения. По энергозатратам два таких маленьких оптоволоконных световых кабеля примерно эквивалентны лампочке в 60 Вт.

А что если Солнце закрыто тучами? В системе используются фотосенсоры для отслеживания яркости внутри помещения, поэтому, по мере того как естественное освещение усиливается или ослабевает, искусственное автоматически уменьшается или увеличивается.

Эта новая технология называется гибридным солнечным освещением. Экономия энергии при использовании системы ГСО свыше 80 % (рис. 32).



Рис. 32. Лабораторный прототип гибридной солнечной установки

Но важно отметить ещё более важный побочный эффект, касающийся здоровья человека, что несоизмеримо ни с какими экономическими показателями. Эксперимент, поставленный в одной из школ Лас Вегаса, однозначно доказал, что замена искусственного света на систему естественного освещения помогает сосредотачиваться на занятиях ученикам, страдающим дефицитом внимания.

Возможности гибридного солнечного освещения безграничны. Солнце может проникнуть в места, где обычно царит мрак. Представьте себе подвалы, автомобильные тоннели и станции метро, залитые натуральным солнечным светом.

Гибридное солнечное освещение очень привлекательная идея, позволяющая использовать природный свет, простая в использовании и обеспечивающая высококачественное освещение, но не слишком значительное энергосбережение. Статистические данные счётчика углекислого газа показывают, что сама по себе система ГСО уменьшила бы выбросы CO₂ крупного мегаполиса всего на 4 %.

10.4. Живая зелёная крыша

Современные города – это бетонные джунгли с асфальтовыми дорогами и бетонными зданиями, поглощающими тепло окружающей среды и обладающими собственным тепловым эффектом, который способствуют повышению температуры на планете. По оценкам специалистов, если не предпринять должных мер, к 2050 г. температура воздуха в мегаполисах увеличится в среднем на 4 °C.

Усугубляет положение эффект теплового купола над городами – одного из самых опасных явлений, вставших перед человечеством сегодня. Огромное пространство рукотворных строений в городах поглощает солнечное тепло и отдаёт его обратно в атмосферу. Узкие улицы и многоэтажки удерживают горячий воздух. Наши здания – гигантские радиаторы, поэтому температура в городах превышает температуру в окрестных сельских местностях на 10 °C и более.

Почему за городом прохладнее? Когда солнечный свет попадает на растения, они потеют, выделяя испарения, как люди. Процесс выпаривания рассеивает огромное количество тепла от солнечного света, способствуя при этом охлаждению воздуха. Значит, засеянные поля всегда будут холоднее, чем городские кварталы из бетона.

Учёные Калифорнийской академии наук создали самую большую зелёную крышу в мире, предназначенную для борьбы с эффектом теплового купола в Сан-Франциско. Идея заключается в воспроизведении естественного цикла охлаждения пригородов в самом центре мегаполиса. Огромная крыша площадью больше гектара копирует 7 холмов Сан-Франциско.

Естественно, при осуществлении такого амбициозного проекта возникли дополнительные проблемы.

Во-первых, как удержать почву массой 1300 т на покатой крыше, расположенной под углом 60°? Для этой цели были спроектированы специальные биологические поддоны. В качестве материала использовался один из самых крепких и универсальных материалов, известных человеку, кокосовая мочалка. Такие поддоны пропускает дождевую воду, позволяют корням переплетаться, при этом они достаточно прочны, чтобы удерживать почву и растения.

Во-вторых, как сделать так, чтобы здание не рухнуло под живой крышей весом в 1300 т? Решение выглядит следующим образом: первый слой – перекрытие крыши, потом слой полипропилена, слой изоляционного материала, снова полипропилен для защиты изоляции. Такая сложная многослойная система защищает здание.

В-третьих, чтобы выжить, растениям, кроме света и тепла, предоставляемых Солнцем, нужна влага. Зелёная крыша должна быть автономной, т.е. не требовать затрат на орошение. Простое, но эффективное решение – слой сот, собирающих все до единой капли дождевой воды. Здесь будет оседать избыток воды, доступной растениям. Еще один слой полипропилена предотвращает какое-либо попадание влаги в перекрытие.

Наконец, идея создания так называемых биоподдонов, специально разработанных под этот проект, заключается в следующем: падая с небес, дождевая вода подбирает незваного гостя – загрязнение в форме нитратов и фосфористых частиц. Большая часть этих токсичных веществ попадает на крыши, но в течение нескольких часов они просачиваются в подземные воды. В почве содержатся бактерии, которые перерабатывают токсичные вещества в питательные для растений. Зеленые крыши впитывают до 98 % дождевой воды.

Учёные отслеживают температуру воздуха на живой крыше, чтобы оценить её воздействие на эффект теплового купола. Результаты поражают: при средней дневной температуре 18 °С температура на нормальной крыше подскакивает до 32 °С, а на зелёной падает до 15 °С. И всё это благодаря испарениям от растений.

Зелёные крыши – не новинка. Однако на обычной живой крыше жарко, очень сухо, нигде не увидишь ни насекомого, ни птички. Создание живой зелёной крыши кардинально преобразило всю крышу в лучшую сторону.

Огромные зеленые крыши могли бы существенно изменить температуру в городах и преобразовать горизонты. Засеяв лишь половину крыш мегаполиса, можно было бы получить ощутимый эффект, вплоть до снижения температуры на 7 °С.

Правда, эффект снижения выбросов CO₂ не велик – всего 4 %. Столько же, что и при использовании технологии смешанного солнечного освещения, но с существенным отставанием от аэрогеля.

10.5. Нано-фотогальванические элементы

Современные здания – конечные потребители, получающие энергию от электростанций. Необходимо в корне пересмотреть эту ситуацию и понять, могут ли здания сами стать электростанциями? Идеальным решением для 2050 г. стал бы город, самостоятельно снабжающий себя энергией, город без электростанций, без потребности в ископаемом топливе, без выброса углекислого газа, без глобального потепления. Научная фантастика или реалистичный взгляд? Ответом может стать освоение самого мощного источника энергии – Солнца.

Одна из самых серьёзных проблем настоящего времени – необходимость уменьшить нашу зависимость от ископаемых видов топлива. Существует большое количество возобновляемых источников энергии, но Солнце стоит особняком – за один час Земля получает от Солнца достаточно энергии, чтобы обеспечить нашу планету на целый год. Технология освоения солнечной энергии не нова – несколько поколений боролись за возможность её эффективного использования.

Город Фрайбург (Германия) стал центром развития гелиотехнологий, в особенности фотогальванических элементов, а Фрайбургский институт солнечной энергии – один из ведущих в этом направлении. Солнечные панели установлены повсюду: от футбольного стадиона до целого квартала домов (Quartier Vauban), функционирующих как мини-электростанции. Все 58 домов этого района и граничащее с ним офисное здание построены в рамках новой концепции «активного дома», т.е. они производят больше энергии, чем потребляют. Еженедельник *Wirtschaftswoche* назвал его «самым энергетически современным поселком Европы».

Главной экологической новинкой стал «вращающийся зелёный дом» «Гелиотроп», признанный специалистами одним из самых экологичных домов в мире (рис. 33). Мало того, что дом этот стоит всего лишь на одной «ножке», он ещё и медленно поворачивается вслед за солнцем. Таким образом, огромные солнечные батареи на крыше дома воспринимают максимум энергии.

Фрайбург – невероятно успешный экологический эксперимент, доказывающий, что использование солнечной энергии возможно, однако непомерно высокая цена сдерживает повсеместное внедрение гелиотехнологий.

Большинство фотогальванических элементов состоит из двух слоев силикона, проложенных между металлическими полосками. Ультрачистый промышленный силикон – дорогостоящий материал, стоимостью до \$ 450 за кг. Высокая первоначальная стоимость установки силиконовых солнечных батарей мешает распространению этой технологии.

Современные нанотехнологии позволяют использовать абсолютно иные материалы (гораздо более дешевые, чем силикон) для производства солнечных элементов. Один из самых распространённых и дешёвых

материалов во вселенной – углерод. Для производства фотогальванических элементов используется особый тип углерода под названием фуллерен – вещество, находящееся на передовой новой науки «нанотехнологии» – науки всего маленького.



Рис. 33. «Вращающийся зелёный дом» «Гелиотроп»

Термином «фуллерены» называют замкнутые молекулы углерода типа C_{60} , C_{70} , C_{76} , C_{84} , в которых все атомы находятся на сферической или сфероидальной поверхности. В этих молекулах атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников или пятиугольников, которые покрывают поверхность сферы или сфероида. Центральное место среди фуллеренов занимает молекула C_{60} , которая характеризуется наибольшей симметрией и как следствие наибольшей стабильностью. Любопытно, что по своей форме молекула C_{60} напоминает футбольный мяч, который также имеет форму Архимедова усечённого икосаэдра (рис. 34) [32].

Наномасштаб очень специфичен для материалов, поэтому, когда добираешься до такого крошечного размера, свойства материалов изменяются. Толщина человеческого волоса 10000 нм, толщина ДНК всего 2 нм. Работа с такими масштабами вызывает серьёзные осложнения.



Рис. 34. Фуллерен

Эффективность традиционных силиконовых батарей около 15 %, а нано-фотогальванические элементы улавливают только 6 % попадающей на них энергии. Для повышения эффективности планируется использовать одно из уникальных свойств фуллерена – изменение размера его частиц вызывает изменение цвета. Цвет материала указывает, насколько хорошо он поглощает свет, который в фотогальваническом элементе преобразуется в электричество. Солнечные батареи на основе наноматериалов могут питать определённые устройства, например, часы или калькуляторы, или даже мобильные телефоны, потому что уже обладают 5–6 %-й эффективностью. Но чтобы добиться достаточной эффективности для питания целого здания, необходимо улучшить этот показатель в 2–3 раза. К 2050 г. учёные планируют повысить КПД нано-фотогальванических элементов до 20 %.

Поистине революционная технология. В отличие от своих силиконовых предшественников нано-фотогальванические элементы более легкие и более гибкие. Благодаря тому, что новое поколение солнечных батарей гораздо меньше по размеру, возможности их применения буквально безграничны. Их можно будет применять в автомобилях, одежде и даже красках. Строения будущего, покрытые нано-фотогальваническими красками любого цвета (по нашему выбору) смогут поставлять энергию в наши дома.

Снижение выбросов углекислого газа в результате внедрения нано-фотогальванических элементов оценивается в 50 %, что делает эту идею весьма перспективным направлением в решении проблемы энергосбережения в будущем.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Мировой топливно-энергетический баланс. Энергетика России.
2. Энергосберегающие технологии – основные задачи.
3. Программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности на период до 2020 года» – основные положения.
4. Опыт по энергосбережению в развитых странах: США, Германии, Франции. «Фактор четыре».
5. Этапы развития стратегии энергосбережения.
6. Энергосбережение в строительстве. Тепловые потери зданий и их минимизация.
7. Энергосбережение в строительстве на основе использования возобновляемых источников энергии. Использование энергии Солнца. Солнечные панели и коллекторы.
8. Энергосбережение в строительстве на основе использования возобновляемых источников энергии. Геотермальная энергия. Тепловые насосы.
9. Классификация энергоэффективных домов. Стандартизация энергоэффективности домов.
10. Пассивные дома. Энергосберегающие технологии. Система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла.
11. Энергосберегающие технологии. Теплоизоляция – внутренняя и внешняя.
12. Остекление пассивного дома. Энергосберегающие стёкла.
13. Использование солнечной энергии в энергосберегающих технологиях пассивного дома.
14. Энергосберегающая кровля. «Зелёная крыша» – экстенсивная и интенсивная.
15. Тепловая изоляция зданий и сооружений. Материалы и способы теплоизоляции.
16. Утепление стен и кровли. Характеристики утеплителей. Типы утеплителей.
17. Утепление коммуникаций. Тепловые мостики.
18. Тепловые потери при теплоснабжении производственных зданий. Системы газового лучистого отопления.
19. Окна и остекление зданий. Стеклопакеты. Теплосберегающая низкоэмиссионная плёнка.
20. Отопление. Водяной тёплый пол.
21. Здания будущего. Аэрогель. Гибридное солнечное освещение.
22. Здания будущего. Живая зелёная крыша. Нано-фотогальванические элементы.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Сравнить тепловые потери через стены коттеджа (многоэтажного здания, коттеджного посёлка), изготовленные по различным технологиям:

- 1) классическая кирпичная кладка толщиной 300 мм (500 мм);
- 2) инновационная многослойная ограждающая конструкция (например, Velox).

Исходные данные (задаются преподавателем*):

Кирпичная кладка (рис. 35)

Толщина кирпичной кладки $\delta_{\text{кирп}} = 300$ мм, (500 мм)

Теплопроводность кирпича (табл. 3)

Толщина штукатурки (внутри и снаружи) $\delta_{\text{шт}}$ *

Теплопроводность штукатурки, $\lambda_{\text{шт}}$, Вт/(м·К):

- стандартная цементная – 0,9;
- стандартная гипсовая – 0,35;
- перлитовая – 0,175;
- IVISL TERMOSIL (на основе пеностекла) – 0,065.

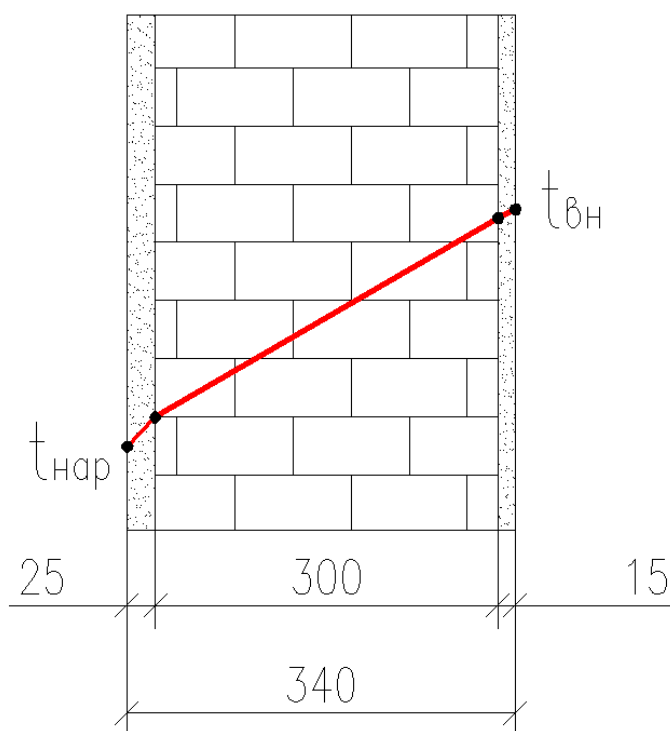


Рис. 35. Кирпичная кладка

Теплоизоляционная ограждающая конструкция (рис. 36)

Параметры инновационной ограждающей конструкции:

Геометрические характеристики (см. табл.4 и рис. 36)

Теплопроводность, Вт/(м·К):

- теплоизоляционная плита Velox WS – 0,13;
- пенополистирол – 0,041;
- железобетон – 0,647.

Геометрия здания: длина, ширина, высота *

Параметр остекления * (площадь окон и дверей *)

Суммарная поверхность стен *

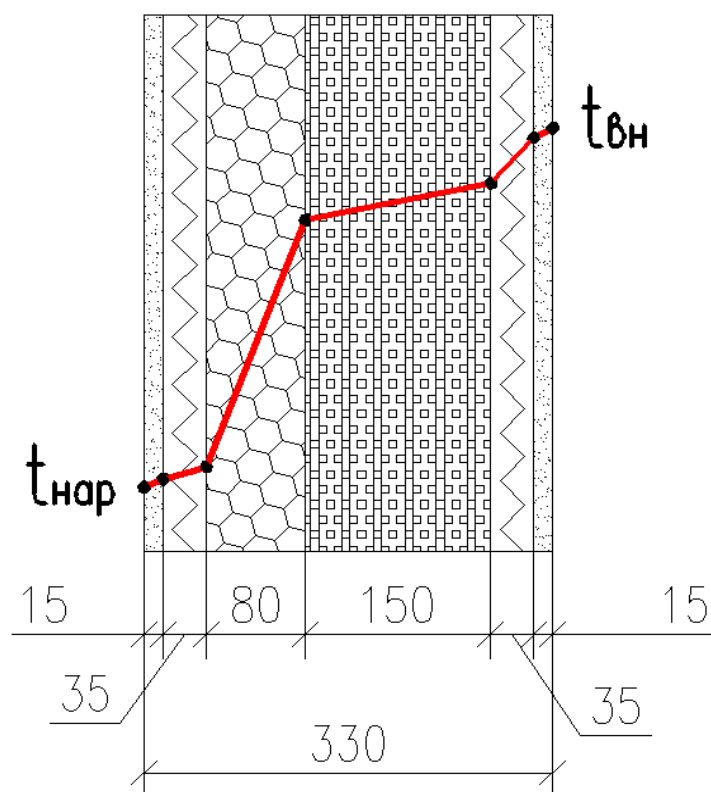


Рис. 36. Теплоизоляционная ограждающая конструкция

Температура воздуха в помещении $t_{вн}$ *

Температура наружного воздуха $t_{нар}$ *

Расчёт провести для трёх режимов (температур $t_{нар}$):

средняя температура для проектирования систем отопления $t_{пр.с.о}$ *;

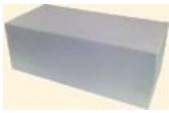
средняя температура за отопительный период $t_{от.пер}$ *;

средняя температура наиболее холодного месяца $t_{хол.мес}$ *.

Продолжительность отопительного периода: τ *.

Таблица 3

Теплопроводность кирпича

Наименование кирпича	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Фото
Силикатный кирпич полнотелый	0,7-0,8	
Силикатный кирпич с техническими пустотами	0,66	
Силикатный кирпич щелевой	0,4	
Керамический кирпич полнотелый	0,5-0,8	
Керамический кирпич с техническими пустотами	0,57	
Керамический кирпич щелевой	0,34-0,43	
Поризованный кирпич	0,22	
Тёплая керамика	0,11	
Блок керамический	0,17-0,21	
Клинкерный кирпич	0,8-0,9	

Геометрические характеристики ограждающей конструкции

	1	2	3	4	5	6
Наружная плита Velox WS, мм	25	35	35	35	35	35
Утеплитель – пенополистерол, мм	50	50	100	120	150	200
Монолитный железобетон, мм	150	150	150	150	150	150
Внутренняя плита Velox WS, мм	35	35	35	35	35	35
Итого	260	270	320	340	370	420

Определить:

- удельные тепловые потери (с 1 м² поверхности), Вт/м²;
- суммарные тепловые потери здания, Вт;
- количество тепловых потерь за отопительный период, ГДж;
- температура на внутренней поверхности стены, °С;
- экономия топлива в результате использования инновационной ограждающей конструкции, т у.т.;
- снижение выбросов парниковых газов (углекислого газа), т СО₂.

Рассчитать температуры на поверхности соприкосновения всех слоёв и изобразить соответствующий график распределения температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». – М.: Министерство энергетики Российской Федерации, 2011.
2. Комплексная программа модернизации и реформирования жилищно-коммунального хозяйства на 2010-2020 годы. <http://www.zhkh.su>
3. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. <http://docs.cntd.ru>
4. Федеральный закон № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». <http://www.rg.ru>
5. Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Смирнова О.С. Топливо и теория горения: учебное пособие / СПбГТУРП. – СПб., 2011. Ч.1. – 76 с.
6. Ершов Ю.А. Глобальная энергетическая безопасность и интересы России. <http://www.twirpx.com>
7. Круглик В.М., Сычев Н.Г. Основы энергосбережения: учебное пособие для студентов экономических специальностей. – Минск: ИПД, 2010. – 138 с.
8. Лонская А. Солнцееды // Русский репортёр. 2012. № 26 (255).
9. Матросов Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути её решения. – М.: НИИСФ, 2008.
10. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы // Энергосовет. 2011. № 5. <http://www.energosoвет.ru>
11. Семикин П.А. Тенденции развития архитектуры энергоэффективных высотных зданий в России и за рубежом. – Новосибирск, НГАХА, 1992.
12. Титова Н. Сады на крышах: прошлое, настоящее и будущее. // Наука и жизнь. 2004. № 4. <http://www.nkj.ru>
13. Аэрогель – материал удивительный. <http://www.info.jinr.ru>
14. Висячие сады Семирамиды. <http://kusudama.com.ua>
15. Водяной тёплый пол. <http://homemasters.ru>
16. Евсеев Л.Д. ППУ покрытия для теплоизоляции крыш. «Рынок теплоизоляционных материалов». <http://www.newchemistry.ru>
17. Законодательство по энергосбережению в США, Европе и России. <http://tybet.ru>
18. Зелёные кровли: прошлое и настоящее. <http://gfosb.com>
19. Зелёный маяк. <http://www.activedom.ru>
20. Ильягуев Р. Энергосберегающие технологии. Стимулировать энергосбережение. <http://abdilceylan.com>
21. Мировые запасы природного газа. <http://dolqikh.com>
22. Низкоэмиссионное стекло. <http://sklo-ua.com>
23. О вентиляции крыш. <http://stroimdomsami.ru>
24. Пассивный дом. <http://ru.wikipedia.org>

25. Пассивный дом (Passive House). <http://www.escoteco.ru>
26. Принцип работы солнечного коллектора. <http://ecoteco.ru>
27. Прогноз глобального развития мировой энергетики от ВР. <http://esco.co.ua>
28. Проталинский А.Н. Переход от энергосберегающего к энергоэффективному строительству. <http://energo-sibir.ru>
29. Профиль ПВХ. <http://econo-okna.ru>
30. Солнечные панели Solyndra. <http://www.alwitra.de>
31. Спиридонов А.В., Шубин Л.И. Энергосбережение в США, Европе и России, 2012. <http://stroy-profi.info>
32. Стахов А.П. Золотое сечение, фуллеры и лечение рака. <http://www.trinitas.ru>
33. Стеклопакет. <http://oknaspb78.narod.ru>
34. Строительство энергоэффективных домов. <http://semidelov.ru>
35. Стругова Е. Энергия будущего: что делать, когда закончатся нефть, газ и уголь. <http://top.rbc.ru>
36. Тепловые мостики. <http://stbani.ru>
37. Теплосберегающая плёнка для окон. <http://semidelov.ru>
38. Утепление фасадов. <http://x-teplo.ru>
39. Физика инфракрасного отопления. <http://metro.ru>
40. Фортов В.Е., Попель О.С. Возобновляемые источники энергии в мире и в России. <http://www.reenfor.org>
41. Фотоэнергетика. Фотоэлектрические коллекторы. Солнечные коллекторы и их использование в разных странах. http://энергия_солнца.рф
42. Цветник на крыше. <http://www.drugsband.info>
43. Что такое мостики холода и как их устранить? <http://strojkaremont.ru>
44. Что такое пассивный дом? <http://ecoteco.ru>
45. Что такое «энергоэффективный дом»? <http://www.ppu21.ru>
46. Шкуридин В.Г. Энергосберегающие системы лучистого отопления для промышленных предприятий и жилых зданий. <http://esco-ecosys.narod.ru>
47. Энергосберегающая кровля. <http://www.e-dach.com.ua>
48. Энергосберегающая кровля. <http://www.newshouse.ru>
49. Энергосберегающая кровля от Kalzip. <http://bud-inform.com>
50. Энергосберегающие стёкла. <http://www.know-house.ru>
51. Энергосберегающая технология в России и за рубежом. <http://rusenergetics.ru>
52. Энергосбережение и энергоэффективность. Почему и как всё это начиналось. <http://portal-energo.ru>
53. Energy Policy Act of 1992, United States. <http://en.wikipedia.org>
54. South Pars / North Dome gas-condensate field. <http://en.wikipedia.org>
55. Ecopolis. City of the future. 2008. SATRip.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Мировой топливно-энергетический баланс.....	3
2. Энергетика России.....	5
3. Программа энергосбережения.....	6
4. Экологические проблемы как предпосылки развития энергосберегающих технологий.....	11
5. Регулирование продвижения энергосберегающих технологий.....	12
6. Этапы развития стратегии энергосбережения.....	15
7. Энергосбережение на основе возобновляемых источников энергии.....	21
8. Энергосбережение в строительстве.....	26
8.1. Опыт энергосбережения в развитых странах.....	26
8.2. Тепловые потери зданий.....	27
8.3. Классификация энергоэффективных домов.....	30
9. Энергосберегающие технологии.....	35
9.1. Теплоизоляция.....	35
9.2. Регулирование микроклимата.....	36
9.3. Энергобезопасность пассивного дома.....	37
9.4. Технология строительства пассивного дома.....	42
9.5. Принципы использования солнечной энергии и остекления в пассивных домах.....	43
9.6. Активное использование солнечной энергии.....	50
9.7. Энергосберегающая крыша.....	52
9.8. «Зеленая кровля», или Сад на крыше.....	56
9.9. Вентиляция крыш.....	60
9.10. Тепловая изоляция зданий и сооружений.....	61
9.11. Тепловые потери при теплоснабжении производственных помещений.....	71
9.12. Системы газового лучистого отопления.....	72
9.13. Окна и остекление зданий.....	73
9.14. Теплосберегающая низкоэмиссионная плёнка для окон.....	79
9.15. Водяной тёплый пол.....	80
10. Инновационные энергосберегающие технологии будущего.....	82
10.1. Здания будущего.....	82
10.2. Аэрогель.....	83
10.3. Гибридное солнечное освещение.....	85
10.4. Живая зеленая крыша.....	87
10.5. Нано-фотогальванические элементы.....	89
Контрольные вопросы.....	92
Задание для практических занятий.....	93
Библиографический список.....	97

Учебное издание

Сергей Николаевич Смородин
Владимир Николаевич Белоусов
Владимир Юрьевич Лакомкин

**МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Учебное пособие

Редактор и корректор Н.П.Новикова

Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2014, поз. 44

Подп. к печати 16.06.2014. Формат 60×84/16. Бумага тип. № 1.

Печать офсетная. 6,25 уч.-изд. л.; 6,25 усл. печ. л. Тираж 100 экз.

Изд. № 44. Цена «С». Заказ

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического
университета растительных полимеров, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.