

3222



Министерство образования  
Республики Беларусь

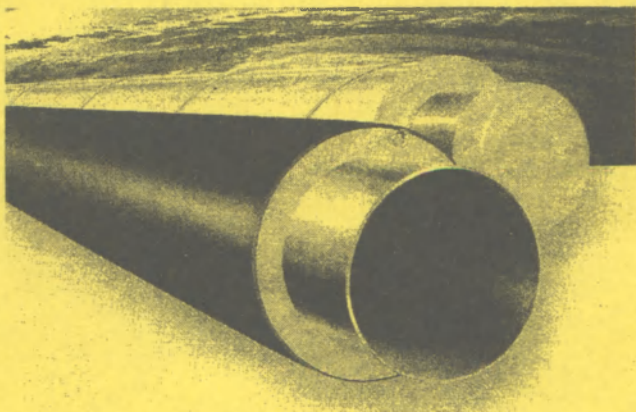
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

А.Э. Змачинский  
О.Г. Галузо

# ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

КУРС ЛЕКЦИЙ



Минск 2007

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

А.Э. Змачинский  
О.Г. Галузо

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

КУРС ЛЕКЦИЙ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений Республики Беларусь  
по образованию в области строительства и архитектуры  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов строительных специальностей  
учреждений, обеспечивающих получение высшего образования*

Минск 2007

69

УДК 69.004.183 (075.8)

ББК 38.1я7

3-69

Рецензенты:

М.И. Кузьменков, Э.И. Батяновский.

**Змачинский, А.Э.**

3 69 Основы энергосбережения в строительстве. Курс лекций: учебно-методическое пособие / А.Э. Змачинский, О.Г. Галузо. – Минск: БНТУ, 2007. – 227 с.

ISBN 978-985-479-642-0.

Конспект лекций дает представление об энергоресурсах, нормативных документах в области энергосбережения, о сущности энергосбережения, об эффективных теплоизоляционных материалах. В издании отражены основные мероприятия по энергосбережению в построенных зданиях и при производстве бетонных и железобетонных изделий, изложены основные понятия и принципы эффективного энергоиспользования, рассматриваются способы энергосбережения в строительстве.

УДК 69.004.183 (075.8)  
ББК 38.1я7

ISBN 978-985-479-642-0

© Змачинский А.Э.,  
Галузо О.Г., 2007  
© БНТУ, 2007

## Оглавление

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ.....	4
2. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА РЫНКЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	31
3. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ СОВРЕМЕН- НЫХ СВЕТОВЫХ (ОКОННЫХ) ПРОЕМОВ.....	103
4. СИСТЕМЫ УТЕПЛЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	149
5. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗ- ВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА.....	196
ЛИТЕРАТУРА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»...	223

# **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.**

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Во многих странах мира после энергетического кризиса 1973 года были приняты законы, касающиеся эффективного использования энергии.

Важность снижения потребления энергоресурсов в Беларуси единодушно признается специалистами. Энергосбережение сегодня является стратегической задачей для страны.

Есть надежда, что можно когда-нибудь если не «перегнать», то хотя бы «догнать» развитые страны по масштабу экономии энергоресурсов.

Потребление энергии в жилом фонде Беларуси в 1,5–2 раза больше, чем в Германии и других соседних с республикой странах.

Проблема, стоящая перед строителями, – снижение энергозатрат на отопление зданий. Она может быть решена только за счет эффективной теплоизоляции зданий и тепловых сетей, так как удовлетворение новых нормативов СНБ по термическому сопротивлению ограждающих конструкций не реально при применении традиционных материалов.

Современная эффективная теплоизоляция может снизить на 1/3 потери тепла в зданиях по сравнению с традиционной. По подсчетам ученых, средства, вложенные в изоляционные материалы при реконструкции старых зданий, окупают себя за 5–6 лет: снижаются затраты на отопление, а при строительстве новых зданий тонкие, но хорошо изолированные стены обходятся дешевле неизолированных массивных. Есть и другая сторона дела – теплоизоляция создает здоровый климат внутри дома. Находящиеся в нем люди не испытывают дискомфорта от сквозняков и сырости. Изолировать здания можно как с внешней, так и с внутренней стороны, причем более надежной считается внешняя изоляция, которая практически устраняет опасность появления конденсата. Внутреннюю используют в основном при реконструкции старых зданий, когда хотят сохранить облик фасада. Помещения с внутренней изоляцией быстрее прогреваются, т.к. каждое из них изолировано «автономно».

### **1.1. Основные термины, определения, понятия**

Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении», № 190-3 принятый Палатой Представителей Республики Беларусь 19.06.1998 г. и подписанный 15.07.1998 г. Президентом А.Г. Лукашенко, определяет следующие основные понятия.

• *Энергосбережение* – организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода (потерь) топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации,

или, по-другому:

• *Энергосбережение* – это комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на уменьшение потерь энергии у потребителя и уменьшение затрат у производителя потребляемой энергии.

Приведенная ниже терминология принята МИРЭК (Мировая энергетическая конференция, 1990 г.).

Энергосбережение – это не ограничение потребления энергоресурсов, не экономия ради экономии, а эффективное использование ТЭР за счет введения новых, энергоэффективных, прогрессивных технологий и оборудования.

*Энергосбережение* – комплекс мер для обеспечения эффективного использования энергоресурсов.

*Энергетические ресурсы* – это носители энергии.

• *Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР)* – совокупность всех природных и преобразованных видов топлива и энергии, используемых в Республике Беларусь;

*топливные* – т.е. предназначенные для сжигания (окисления) – бурый и каменный уголь, антрацит, нефть, газ природный, торф, горючие сланцы, древесина;

*нетопливные* – энергия воды, ядерная энергия, а также частично энергия ветра, морских приливов и солнечной радиации.

• *Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР)* – использование всех видов энергии экономически оправданными прогрессивными способами при существующем уровне развития техники и технологий и при соблюдении законодательства.

Эффективное использование энергии представляет собой одно из средств, используемых для обеспечения необходимых энергоуслуг, таких как отопление или освещение, и носит название регулирования потребления энергии.

• *Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР)* – достижение максимальной эффективности использования

топливно-энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении законодательства.

*Рациональное использование энергии* – расходование энергии наиболее рациональным путем.

• *Показатель энергоэффективности* – научно обоснованная абсолютная или удельная величина потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) (с учетом их нормативных потерь) на производство единицы продукции (работ, услуг) любого назначения, установленная нормативными документами.

Энергоэффективность не означает запрета на расходование энергетических ресурсов. Она означает снижение или устранение неоправданных потерь энергии в зданиях или организациях, но при том, чтобы тот же уровень энергоуслуг и комфорта обеспечивался с затратой меньшего количества энергии. Речь идет о рациональном их использовании.

Масштабные отключения электроэнергии в Москве в 2005 г. показали, насколько мы зависим от благ цивилизации. Когда люди лишены возможности приготовить пищу, посмотреть телевидение, позвонить по телефону, воспользоваться лифтом, метро, да в масштабах не одного дома или квартала, а целого города, то привычный уклад жизни нарушается самым серьезным образом, а большинство предприятий и организаций просто не может работать. И это только из-за отсутствия электричества. Если же лишить мегаполис подачи воды, то вообще возникает угроза жизни людей.

### **Что нам стоит дом построить, теплый и комфортный**

Если вы сейчас строите или покупаете жилье, то как долго планируете в нем жить вы и ваши дети? Посчитали? А теперь соотнесите эту цифру со следующей информацией. Согласно исследованиям компании *British Petroleum* при нынешнем уровне добычи и разведки нефти в России этого сырья хватит только на 22 года, а мировых запасов – на 41. Это наступит уже послезавтра.

Неслучайно поэтому в Западной Европе все более актуальным становится вопрос о строительстве домов с низким энергопотреблением. Это определение включает в себя целый комплекс технологий и мероприятий, направленных на снижение энергопотребления. Но самым заметным и впечатляющим решением является отсутствие затрат энергии на отопление помещений. Не углубляясь в подробности, можно сказать, что воздух обогревается теплом, выделяемым бытовыми приборами и людьми. И это технологии уже сегодняшнего дня.

Но сравнение даже средних жилых помещений в Скандинавии и в Беларуси показывает, что потомки викингов затрачивают в настоящее время на обогрев своих жилищ гораздо меньше энергии, чем мы. Почему? Вот лишь один из показателей. Средняя толщина эффективных теплоизоляционных материалов, применяемых сейчас в Швеции при возведении стен жилых зданий, составляет 240 мм. Чтобы получить такое же термическое сопротивление потерям тепла для деревянной стены, бревно должно быть толщиной 685 мм, а стена из керамического эффективного кирпича должна быть 3085 мм, т.е. более трех метров.

Естественно, что применение больших толщин утеплителя эффективно только в каркасных конструкциях. Прежде всего в каркасных конструкциях возможно применение легких мягких волокнистых утеплителей. Это позволяет значительно уменьшить массу наружных стен, а следовательно, и стоимость здания в целом.

**Источники энергии** – источники, из которых может быть получена полезная энергия непосредственно или путем преобразований.

• *Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии* – источники электрической и тепловой энергии, использующие энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков, энергию ветра, солнца, редуцируемого\* природного газа, биомассы (включая древесные отходы), сточных вод и твердых бытовых отходов.

В Мядельском районе в деревне Комарово (Беларусь) уже реализовано несколько успешных проектов по использованию возобновляемых источников энергии (ветряные установки в поселке Дружная, производство теплоизоляционных материалов – матов из камыша в деревне Занарочь, отопительные установки на древесном топливе). Существует проект использования в Беларуси в качестве топливного материала отечественного рапсового масла.

*Вторичные (побочные) энергоресурсы (ВЭР)* – это носители энергии, образующиеся в ходе производства, которые могут быть повторно использованы для получения энергии вне основного технологического процесса.

Это – отработанные горючие органические вещества; городские и промышленные отходы, городской мусор; теплота отходящих газов; горячие отработанные теплоносители, доменный газ, теплота отработанных горячей воды и пара; отходы сельхозпроизводства.

---

\* Редуцирование – понижение давления газа с помощью редукторов, вентилялей.



ВЭР – энергия, получаемая в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии или в виде побочного продукта основного производства и не применяемая в этом технологическом процессе.

*Природные источники* энергии подразделяются:

1) на *возобновляемые* источники энергии, которые характеризуются отсутствием естественных возможностей накопления энергии, и поэтому использование их возможно по мере возникновения в них энергии.

Эти источники можно разделить на две группы:

- естественные, в производстве которых лежит получение энергии Солнца (гидроэнергия, геотермальная, ветровая энергия, древесина и энергия биомассы),
- антропогенные, куда входят тепловые, органические и другие отходы деятельности человечества;

2) *традиционные* (невозобновляемые) энергетические ресурсы – это естественно образовавшиеся и накопившиеся в недрах планеты запасы веществ, способные при определенных условиях высвободить заключенную в них энергию. Это все виды ископаемого топлива (каменный уголь, нефть, газ, торф), при сгорании которого расходуется кислород, выделяется прямо либо косвенно используемое людьми тепло (его преобразуют) и вредные продукты сгорания: газообразные (СО, СО<sub>2</sub>, оксиды серы, азота и др.) и твердые (пылевидные и компактные). Процесс получения энергии из топлива *негативно* влияет на экологию в первую очередь атмосферы (например, возрастание содержания СО<sub>2</sub> вызывает климатические изменения – парниковый эффект, уменьшение содержания О<sub>2</sub> – одна из причин образования «озоновых дыр» – окон, через которые опасные для всего живого ультрафиолетовые излучения достигают Земли).

Прирост торфяного слоя болот составляет 1 мм в год. А наши болота – «легкие Европы». ГЭС перекрывают реки и нарушают тысячелетиями сложившийся водный экологический баланс. ТЭЦ осуществляют постоянные вредные выбросы в атмосферу.

Особыми видами истощаемых энергетических ресурсов являются расщепляющиеся (радиоактивные) вещества, находящиеся в недрах нашей планеты. На первый взгляд ядерное топливо (уран) – это очень привлекательный источник энергии, поскольку выделение энергии тепла происходит без вовлечения в этот процесс расходуемых

элементов атмосферы и в идеале атомная электростанция – экологически чистый источник энергии. Наша цивилизация уже прошла пик эйфории по этому поводу. В действительности оказалось, что экологическая безопасность АЭС относительна, зависит не только от безукоснительного соблюдения технологических режимов, но и от надежности элементов оборудования. Срок службы оборудования АЭС оказался по этой причине в 2-3 раза меньше расчетного, демонтаж, замена элементов этого оборудования более дороги, чем сооружение новых станций. Практически не решена проблема захоронения радиоактивных отходов и изношенного оборудования радиоактивной зоны. Опыт Чернобыля является убедительной иллюстрацией дорогой цены, которую приходится платить за АЭС.

Другим (альтернативным) способом использования энергии расщепляющихся материалов является *использование тепла земных недр*.

- *Пользователи топливно-энергетических ресурсов в Республике Беларусь* – субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории Беларуси в качестве юридических лиц или предпринимателей без образования юридического лица, а также другие лица, которые в соответствии с законодательством Республики Беларусь имеют право заключать хозяйственные договоры, и граждане, использующие топливно-энергетические ресурсы.

- *Производители топливно-энергетических ресурсов* – субъекты хозяйствования независимо от форм собственности, зарегистрированные на территории Республики Беларусь в качестве юридических лиц, для которых любой из видов ТЭР, используемых в республике, является товарной продукцией.

Согласно закону «Об энергосбережении» субъектами отношений в сфере энергосбережения являются юридические и физические лица (пользователи и производители топливно-энергетических ресурсов), осуществляющие следующие виды деятельности:

- добыча, переработка, транспортировка, хранение, производство, использование и утилизация всех видов топливно-энергетических ресурсов;

- производство и поставка энергосберегающих и энергопотребляющих оборудования, машин, механизмов, материалов, а также приборов учета, контроля и регулирования расхода топливно-энергетических ресурсов;

- проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских, опытно-технологических, экспертных, специализированных, монтажных, наладочных, ремонтных и других видов работ (услуг), связанных с повышением эффективности использования и экономии топливно-энергетических ресурсов;

- информационное обеспечение юридических и физических лиц, подготовка кадров для сферы энергосбережения;

- разработка и внедрение эффективных систем управления энергосбережением и средств контроля за эффективным использованием топливно-энергетических ресурсов.

- **Учет топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).**

Весь объем добываемых, производимых, перерабатываемых, транспортируемых и потребляемых топливно-энергетических ресурсов подлежит обязательному учету.

Порядок и условия оснащения пользователей и производителей топливно-энергетических ресурсов приборами учета их расхода, а также порядок разработки и утверждения правил пользования электрической и тепловой энергией, природным и сжиженным газом, продуктами нефтепереработки устанавливаются правительством Республики Беларусь.

- **Образование и подготовка кадров для сферы энергосбережения.**

Высшие, средние специальные и профессионально-технические учебные заведения, а также учреждения повышения квалификации и переподготовки кадров в программах по обучению и подготовке специалистов в области энергообеспечения должны предусматривать соответствующие курсы по энергосбережению.

Еще в 1989 г. в БССР никто не считал, что стены нужно утеплять, а теперь это первоочередная потребность.

Многие владельцы коттеджей, которые сэкономили на теплоизоляции дома, в дальнейшем несут неизмеримо большие расходы на отопление.

Если учесть ситуацию с энергоресурсами и ценами на нефть, то ситуация для Республики Беларусь представляется очень сложной.

В 1992 г. бывший Государственный комитет по строительству Республики Беларусь утвердил нормы и рекомендации на тепловое сопротивление элементов зданий.

Однако панельных конструкций, которые соответствуют новым нормам, нет до сих пор.

Кроме того, теплопотери через уплотнения в окнах не нормируются вообще.

В Норвегии, Дании, Нидерландах, США, Швеции и других странах уже построены десятки тысяч домов, которые полностью или частично обогреваются за счет альтернативных источников энергии (солнечная энергия, ветер, вода). У нас такого опыта нет.

В Германии строительные организации и домовладельцы несут совместную ответственность за энергопотребление дома.

Как правило, теплоизоляция большинства белорусских домов не соответствует требованиям стандартов.

**Термическое сопротивление** (тепловое сопротивление)  $R_T$  – способность тела (его поверхности или какого-либо слоя) препятствовать распространению теплового движения молекул. Различают полное термическое сопротивление:  $R_T = 1/k$  – величину, обратную коэффициенту теплопередачи  $k$ , и поверхностное термическое сопротивление – величину, обратную коэффициенту теплоотдачи.

Термическое сопротивление (сопротивление теплопередаче, сопротивление теплопроводности стенки) однородной ограждающей конструкции или слоя многослойной конструкции равно отношению толщины слоя  $\delta$  к его коэффициенту теплопроводности  $\lambda$ :

$$R_T = \frac{\delta}{\lambda_{\text{eff}}}, \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт,}$$

где  $\delta$  или  $d$  – толщина слоя утеплителя, м;

$\lambda_{\text{eff}}$  – эффективная теплопроводность однослойной композиции или теплоизоляционного слоя, зависит от средней плотности  $\rho_0$ , влажности  $W$  и температуры материала  $t$ :

$$\lambda_{\text{eff}} = f(\rho_0, W, t).$$

Эта формула в рекламных проспектах и буклетах, предлагаемых фирмой ROCKWOOL, представляется как «Супер формула».

Термическое сопротивление сложной системы (например, многослойной тепловой изоляции) равно сумме термических сопротивлений отдельных слоев.

Термическое сопротивление численно равно температурному напору, необходимому для передачи единичного теплового потока (равного  $1 \text{ Вт/м}^2$ ) к поверхности тела или через слой вещества; выражается в  $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$  или  $(\text{м}^2 \cdot \text{С})/\text{Вт}$ .

Есть отличия в единицах измерения в разных нормативных документах:

$$\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°С}) - \text{в СНБ 2.04.01.97};$$

$$\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К}) - \text{в ГОСТ 7076 Р.}$$

Для вычисления коэффициента теплопроводности каменных материалов в воздушно-сухом состоянии используется формула В.П. Некрасова:

$$\lambda = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}),$$

где  $d$  – относительная плотность:

$$d = \frac{\rho_{\text{мат}}}{\rho_{\text{воды}}},$$

или вместо  $d$  в формулу В.П. Некрасова можно подставить  $\rho_0$  (в  $\text{г}/\text{см}^3$ ).

Степень теплопроводности материала характеризует коэффициент  $\lambda$ , который численно равен количеству тепла, проходящего через стену толщиной 1 м и площадью  $1 \text{ м}^2$  за 1 час при разности температур противоположных поверхностей стены в 1 К:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A(t_1 - t_2) \cdot T}, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}),$$

где  $Q$  – количество тепла, Дж;

$\delta$  – толщина материала, м;

$A$  – площадь сечения, перпендикулярного направлению теплового потока,  $m^2$ ;

$(t_1 - t_2)$  – разность температур,  $K$ ;

$T$  – продолжительность прохождения тепла, ч.

Чем больше величина сопротивления теплопередаче  $R$ , тем эффективнее утеплитель и более энергосберегаем дом (рис. 1).



Рис. 1.1

В зарубежной технической литературе используется иное понятие – коэффициент теплопередачи (КТП), тепловая проводимость стенки:

$$k = \frac{\lambda}{\delta}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

т.е.

$$k = \frac{1}{R_T}$$

КТП надо снижать. Например, если  $k = 1,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , то соответственно  $R_T = 0,56 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ .

**КТП** – единица, которая обозначает прохождение теплового потока мощностью 1 Вт сквозь элемент строительной конструкции площадью 1 м<sup>2</sup> при разнице внутренней и внешней температуры в 1 К.

$$1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}) = 0,86 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C});$$

$$1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}) = 1,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C}).$$

Сопrotивление теплопередаче ограждающих конструкций жилищного фонда Беларуси, построенного в основном в 60-90-х годах XX века,  $R_T = 0,8 \dots 1,74 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

В СНБ 2.04.01-97 приведены численные значения  $R_{T \text{ норм}}$  – нормативного (требуемого) сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (табл. 1.1).

В России (для Москвы)  $R_{T \text{ тр}} = 3,2 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

Таблица 1.1

### Значения нормативного сопротивления теплопередаче

Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{T \text{ норм}}$ ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , не менее	Для энерго-сберегающего дома $R_{T \text{ норм}}$
<i>А Строительство</i>		
Наружные стены крупнопанельных, каркасно-панельных и объемно-блочных зданий	$\geq 2,5$	$\geq 4,0$
Наружные стены монолитных зданий	$> 2,2$	$\geq 4,0$
Наружные стены из штучных материалов (кирпич, шлакоблоки и т.п.)	$\geq 2,0$	$\geq 4,0$
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия (кроме теплых чердаков) и перекрытия над проездами, мансарды	$> 3,0$	$\geq 6,0$
Заполнения наружных световых проемов	$> 0,6$	
Деревянные окна	$> 0,7$	
<i>Б. Реконструкция, ремонт</i>		
Наружные стены	$> 2,0$	

От принятого сопротивления теплопередаче  $R_T$  зависят толщина наружных стен и расход топлива на отопление зданий (табл. 1.2).

В дополнении № 5 к Постановлению Государственного комитета по строительству от 07.04.1992 г. указаны рекомендуемые значения сопротивления теплопередаче, в частности, не менее 3,5...5,0 ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт для стен (новое строительство).

Таблица 1.2

Необходимая толщина наружной стены для обеспечения сопротивления теплопередаче  $R_T = 2,0$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт

Материал 1	Толщина наружной стены, см 2
Железобетон	302
Керамзитобетон	132
Шлакобетон	94
Газо(пено)бетон	60
Полистиролбетон	20
Кирпич керамический обыкновенный	102
Кирпич керамический эффективный	78
Кирпич силикатный цельный	224
Кирпич силикатный утолщенный	152
Пенополистирол	10
Кирпич керамический обыкновенный + + «термошуба» (утеплитель)	38+5
Кирпич силикатный + «термошуба»	38+8
Кирпич керамический эффективный + + «термошуба» (утеплитель)	38+5

Таблица 1.3

Приведенное сопротивление теплопередаче заполнения  
наружных световых проемов (окон и балконных дверей)  
по СНБ 2.04.01-97

Заполнение светового проема 1	Сопротивление теплопередаче $R_T$ ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт 2
Одинарное остекление в деревянных переплетах	0,18
Одинарное остекление в металлических переплетах	0,15
Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	0,39
Двойное остекление в деревянных раздельных переплетах или поливинилхлоридных переплетах	0,42



1	2
Двойное остекление в металлических отдельных переплетах	0,34
Тройное остекление в металлических отдельных переплетах	0,46
Тройное остекление в деревянных раздельно-спаренных переплетах	0,55
Блоки стеклянные пустотелые размером 194 x 194 x 98 мм при ширине швов 6 мм	0,31
Профильное стекло швеллерного сечения	0,16
Профильное стекло коробчатого сечения	0,31
Блоки стеклянные пустотелые размером 244 x 244 x 98 мм при ширине швов 6 мм	0,33
Органическое стекло одинарное	0,19
Двухслойные стеклопакеты в деревянных или пластмассовых однокамерных переплетах	0,36
Трехслойные стеклопакеты (двухкамерные) из обычного стекла	0,52
Надо применять!	
Двухслойные (т.е. однокамерные) стеклопакеты + селективное покрытие на внутренней поверхности стекла и заполнение межстекольного пространства аргоном (Ar). Они дороже, но это компенсируется экономией на отопление	0,7

Минимальные необходимые значения температуры приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

## Нормативные значения температуры в помещениях

Здания	Помещения	Расчетная температура воздуха, не менее, °С	Относительная влажность воздуха, не менее, %
1	2	3	4
Жилые, общежития	Жилые комнаты	18	55
То же	Кухня	15	55
То же	Вестибюль, общий коридор, лестничная клетка	15	55
Школы и школы-интернаты	Классные помещения, учебные кабинеты, лаборатории, актовый зал, клубная комната, кружковые помещения	18	55
Профессионально-технические, средние специальные и высшие учебные заведения	Любого назначения	18	55

1	2	3	4
Лечебные учреждения	Палаты для взрослых больных, помещения для игло-терапии, палаты для туберкулезных больных	20	55
Административные и бытовые здания	Управления, конструкторские бюро, общественные организации	18	50
То же	Вестибюли, гардеробы уличной одежды, курительные, уборные и умывальники при них	16	50
То же	Гардеробные для хранения всех видов одежды с неполным переодеванием	18	50

Последствия понижения температуры в помещении следующие: когда вместо 18 °С в квартире будет 15, а то и 12 °С, такая политика экономии вредная, разрушительная и чрезмерно затратная, потому что люди болеют, здания разрушаются, а расход топлива резко увеличивается (увеличивается расход газа, горячей воды и электроэнергии).

Для экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) необходимо сокращение расхода теплоты на отопление зданий.

Теплопотери зданий существенно зависят от сопротивления теплопередаче  $R_T$  наружных ограждающих конструкций и до настоящего времени неоправданно велики!

Для Беларуси, которая должна расходовать значительную часть национального дохода на приобретение ТЭР, эта проблема весьма актуальна.

Введенные 1.05.1998 г. в действие строительные нормы СНБ 2.04.01-97 «Строительная теплотехника» направлены на решение вышеуказанной проблемы и устанавливают по сравнению с ранее действующими нормами гораздо более высокие требования к уровню теплозащиты здания, приближающиеся к требованиям в зарубежных странах с аналогичными климатическими условиями.

Был издан целый ряд пособий по системам утеплений:

пособие 1-99 «Теплоизоляция наружных стен зданий эффективными плитными материалами («термошуба»)» к СНиП 3.03.01.87 «Несущие ограждающие конструкции» (СКТБ «Сармат»);

СНБ 2.04.01.96. «Теплотехнический расчет ограждающих конструкций» (с 01.01.1997 г.);

ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01-87. «Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций жилых зданий». Это основной нормативный документ по системам утепления;

П5-02 к СНиП 3.03.01-97. Система утепления «Радекс».

Некоторые фирмы также издали свои пособия по системам утепления.

Главная проблема энергосбережения в Беларуси, несомненно, психологическая.

Для граждан Беларуси в XX веке ни во время их учебы в вузах, ни во время последующей работы задачи энергосбережения не были первоочередными.

Нас всех теперь учит сама жизнь.

## 1.2. Энергосберегаемость

Определение «энергосберегаемое здание» медленно доходит до нашего сознания. Энергосберегаемость становится и должна быть очень существенной характеристикой здания, а в ближайшее время она должна быть критерием хорошего проекта и качества его исполнения. Собственнику и потребителю это поможет значительно сэкономить денежные затраты.

Стоит напомнить, что:

– *энергоемкость* – это количество энергии, потребленной на эксплуатацию здания в течение года, причем под *потребленной энергией* понимаем приток снаружи в здание всех видов энергии, в том числе солнечной, а также излучаемой от жителей и эксплуатируемых устройств;

– в качестве меры энергоемкости здания можно принять сезонный спрос на энергию, необходимую для отопления  $1 \text{ м}^3$  здания, т.е. **показатель необходимого количества теплоты  $E_0$** , выраженный в  $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$  в год или  $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  в год.

Построенные ранее (70-е и 80-е годы XX века) и эксплуатируемые в Беларуси и соседней с ней Польше здания имеют  $E_0 > 220 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  в год за отопительный сезон ( $180 \dots 400 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  в год).

Например, сегодня в Польше строящиеся жилые здания характеризуются  $E_0 = 120 \dots 180 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  в год, а в соответствии с нормативными требованиями предельный показатель  $E_0^{\text{норм}}$ , например, для проектируемого жилого здания должен составлять

$$E_0 = 91 \dots 125 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \text{ в год.}$$

Для сравнения: в Германии  $E_0^{\text{норм}} = 80 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  в отопительный сезон. Для Беларуси пока актуально снижение показателей по расходу энергии хотя бы до  $E_0^{\text{норм}} = 120 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ .

Необходимо помнить, что принятие для отдельных ограждающих конструкций сопротивления теплопередаче с обязательным  $R_{\text{т мин}}$  еще не гарантирует достижения актуального критерия энергосбережения.

Большой эффект дает агитация за энергосбережение среди населения.

Как показывает мировой опыт, затраты на такую агитацию окупают себя многократно.

Но более действенна другая система.

Необходимо создать простую и всем понятную систему стимулирования энергосбережения для населения и работников жилищно-коммунального хозяйства.

В Германии экономия – это государственная политика. Государственные органы власти ФРГ отслеживают снижение расхода энергии, и там приняты специальные стандарты, которые регулярно обновляются.

Германские строители вышли на уровень строительства домов с расходом энергии  $E_0 = 30 \dots 70 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  в отопительный сезон.

Не за горами перспектива создания домов с нулевым уровнем потребления энергии.

Существует понятие «*пассивный дом*». Это дом, на отопление которого практически не требуется дополнительных теплоносителей. Немцы и шведы оборудуют дом таким образом, чтобы полностью исключить выброс тепла через вентиляцию, стены и окна. Технологически несложная конструкция вентиляции позволяет легко обеспечить согревание поступающего в помещение воздуха почти до комнатной температуры во время его движения по специальному

трубопроводу, уложенному в грунт. Для отопления эффективно используется энергия, выделяемая бытовыми приборами в процессе работы, тепловое излучение человеческого тела и прочие побочные источники тепла. Как подсчитали специалисты, в год человек выделяет 300 кВт тепла, а этого достаточно для поддержания нормальной температуры в помещении.

При хорошей теплоизоляции (которая в 5 раз превышает среднюю) этого достаточно, чтобы дом не имел потребности в дополнительных источниках обогрева. Окна, используемые в «пассивном» доме, изготовлены из пенополиуретана (ППУ), имеют двухкамерный стеклопакет, заполненный криптоном Kr или аргоном Ar, а на стекла нанесен слой серебряного покрытия для отражения выходящего тепла обратно в помещение. Кроме того, дом снаружи утеплен 40-сантиметровым слоем из пенополистирола, сделана теплоизоляция подвала и кровли. Все эти качества позволяют полностью исключить влияние внешних погодных условий на внутреннюю температуру и влажность воздуха в помещении.

Большинство наших зданий, т.е. жилой фонд в Республике Беларусь, имеет высокое удельное потребление теплоты:  $E_0 > 200...220$  и до  $300 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  в год на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Это показатель для домов крупнопанельного домостроения (где была запроектирована минимальная стоимость  $1 \text{ м}^2$  жилья без учета эффективности пяти этажей) серии 1-335 и 1-464.

Современные жилые дома должны быть рассчитаны на потребление энергии  $E_0 = 80...120 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  в год жилой площади.

Передовые технологии должны обеспечить  $E_0 = 60...70 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  в год.

Несложные технологические операции по снижению энергоемкости следующие:

- утепление перекрытий над подвалами;
- утолщение утеплительного слоя кровли (теплая шапка на крышу), т.е. слой около 20 см, а также строительство домов ширококорпусными (15...16 м) снижают расход тепла на 20...25 %.

В Германии правительство смогло заинтересовать население в реконструкции жилья с применением энергосберегающих технологий следующим образом:

– владельцу жилья, утепляющего наружные стены своего здания слоем утеплителя в 12 см, выплачивается государственная помощь в 60 евро за 1 м<sup>2</sup>. Такая же цена – за установку 1 м<sup>2</sup> нового теплоэкономичного окна;

– при утеплении внутренних стен 6-см слоем утеплителя – 20 евро за 1 м<sup>2</sup>.

В соседней с Беларусью Литве за отопление трехкомнатной квартиры жилец платит более 100 \$ в месяц. Поэтому там жильцы сами настаивают на установке в их квартирах счетчиков тепла, чтобы иметь возможность это тепло (и свои деньги) экономить.

В 2004 году в Минске должна была начаться реализация проекта по реконструкции зданий первой серии крупнопанельного домостроения. Через десять лет, как обещают его исполнители, так называемые «хрущевки» будут полностью переоснащены изнутри и преобразованы снаружи.

Сейчас в Беларуси около 10 тыс. типовых пятиэтажек той эпохи. Из них около тысячи – в Минске. Иными словами, в таких домах проживают 5...7 % жителей столицы. Цифра сравнительно небольшая, но количество неприятностей, с которыми постоянно сталкиваются как обитатели «хрущевок», так и городские власти, похоже, лидирует на фоне проблем всех остальных построек XX века.

В послевоенные годы при тотальной нехватке жилья ставилась задача обеспечить им, и в кратчайшие сроки, как можно больше граждан. Идеологи СССР не нашли тогда лучшего решения, чем пожертвовать качеством жилья.

В середине 1950-х годов целые микрорайоны росли прямо на глазах во всех крупных городах страны. В Минске первые из них появились в районе улиц Волгоградской и Орловской. Счастливые новоселы и предположить не могли, с какими проблемами столкнутся позже.

По советским нормам эксплуатационный (негарантийный) срок для водопроводных труб и прочих коммуникаций, установленных в «хрущевках», равнялся 30 годам. То есть дома подлежали капитальному ремонту еще в середине 1980-х годов. Однако с распадом СССР реконструкция таких зданий отодвинулась на неопределенный срок.

А через несколько лет выяснилось, что из-за отсутствия системы утепления панельных пятиэтажек на отопление «хрущевок» расходуется в три раза больше энергоресурсов, чем, скажем, на постройки 1970-х годов. Первое здание было отремонтировано в Минске в 1997 году при участии немецкого подрядчика с использованием немецких же материалов. В 1998 г. состоялось торжественное «перезаселение» жильцов в утепленный дом № 54 по проспекту Пушкина. Реконструкция действительно позволила перевести дом на режим экономичного энергопотребления. Но устаревшую «начинку» дома не меняли, а значит, большинство проблем все же осталось.

Подобные проекты не получили широкого распространения из-за огромных финансовых затрат, на которые не рассчитывал городской бюджет.

И вот новый этап существования «хрущевок». В течение десяти ближайших лет они должны будут превратиться в комфортабельные места проживания.

Уже в 2005 году в Минске должно было быть капитально отремонтировано 226 тыс. квадратных метров морально устаревшей жилой площади. При этом объем бюджетного финансирования такой реконструкции – около 78 млрд. рублей.

Как и всякий капитальный ремонт, модернизация будет заключаться в первую очередь в ремонте несущих конструкций и тепловой реабилитации строений, то есть в обкладке их специальными блоками из минеральной ваты и нанесении полимерцементного декоративно-защитного слоя. Цель подобного утепления – сократить теплопотери при отоплении домов. Также предполагается замена всех основных систем коммуникации обветшавших зданий и ремонт непосредственно жилых помещений или квартир.

Сейчас в Первомайском и Центральном районах г. Минска ведется поиск площадок для строительства многоэтажных домов, в которые, возможно, будут отселять жителей реконструируемых «хрущевок» на время реализации программы. В этих двухстах квартирах вынужденным переселенцам, возможно, придется провести по несколько месяцев. Жильцы реконструируемых домов, в основном пенсионеры, особого оптимизма по данному поводу, естественно, не испытывают.

При разработке проекта был учтен опыт подобных реконструкций в других городах и странах бывшего СССР. В России, к примеру, в 2002 году была принята государственная программа по модер-

низации устаревшего жилого фонда в регионах. Однако, например в Перми и Екатеринбурге директиву свыше восприняли как призыв к проведению чисто косметического ремонта.

Пожалуй, самой популярной мерой воздействия на ветхие строения на просторах одной шестой части суши является капитальный ремонт с надстройкой мансард. Такая программа реализуется сейчас в Санкт-Петербурге. Необходимость надстройки мансарды мотивируется появлением «лишней» жилплощади, которая может помочь хоть как-то окупить огромные затраты на модернизацию. Однако у многих экспертов такие проекты вызывают серьезные опасения: а выдержат ли старые конструкции массу еще одного этажа?

В Москве к решению проблемы «хрущевок» подошли более радикально: через несколько лет их не останется вовсе. Распоряжением мэра Лужкова все старые панельные дома подлежат обязательному сносу. Власти российской столицы объясняют это тем, что затраты на реконструкцию и постройку нового жилья примерно равны. В Литве все панельные дома исчезли.

В Минске же идею сноса «хрущевок» не приняли, посчитав, что дешевле реконструировать здания в старых районах, чем создавать новую инфраструктуру для свежего жилья. К тому же оказалось, что модернизация домов в Беларуси почти в два (!) раза дешевле аналогичных работ в соседней России.

Капитальный ремонт 1 м<sup>2</sup> минского жилья стоит более 200 долларов (для сравнения в Москве – более 400 долларов). Так что наиболее возможными представляются два варианта развития принятой программы: либо в ближайшем будущем внезапно кончатся деньги на ее реализацию, либо «капитальный» ремонт на практике превратится в обычный косметический.

### **1.3. Причины потери тепловой энергии при отоплении построенных и эксплуатируемых зданий**

Основными причинами теплопотерь при отоплении помещений в зданиях являются:

1. Низкая теплозащита ограждающих конструкций, включая и столярные изделия. Через окна и стены уходит 1/3 тепла.

Наиболее значительные (высокие) теплопотери в зданиях происходят через наружные стеновые ограждения (42 и 49 % для пяти-



и девятиэтажных зданий) и окна (32 и 35 % соответственно). Дополнительные теплопотери вызывает также промерзание наружных ограждающих конструкций зданий.

2. Нерациональные планировочные решения жилых зданий и целых кварталов застройки, неправильное расположение зданий и сооружений при застройке (без учета солнечной стороны, требований по инсоляции помещений, «розы ветров»). Здание не должно быть скучным ящиком!

3. Воздухообмен через наружные ограждения и через вентиляционные системы.

4. Большие потери в сетях теплоснабжения и отопления и при транспортировке; отсутствие регулирования теплопотребления.

5. Недостаток приборов для учета расхода:

- газа;
- холодной и горячей воды.

6. Тарифы на энергоресурсы, не стимулирующие экономное расходование.

7. Несовершенство систем инженерного оборудования, обеспечивающих отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение. Они малоэффективны.

8. Не организован выпуск качественных и конкурентоспособных отечественных теплоизоляционных листовых материалов для тепловой реабилитации (санации) и для надстройки мансард. В XX веке в строительстве доминировали конструкции из неэнергоэффективных строительных материалов. Особенно это касалось ограждающих конструкций (стены, заполнения окон, балконов, покрытия), через которые происходят основные теплопотери. Кроме того, мало уделялось внимания рациональному использованию тепла возобновляемых природных источников – солнца, ветра, геотермальных источников и др.

#### **1.4. Мероприятия по энергосбережению**

Постоянная работа по энергосбережению должна включать:

1. Использование местных и альтернативных видов топлива, увеличение объемов замещения закупаемого за пределами республики топлива местными видами (дрова, древесные отходы, торфобрикеты).

После газовых потрясений в начале XXI века Республика Беларусь серьезно озаботилась решением проблемы, поставленной временем и обстоятельствами, — экономным расходом энергии. Для начала правительство поставило задачу снизить на 20 % потребление топливно-энергетических ресурсов в реальном, то есть не связанном с бюджетом, секторе экономики. Добиться этого можно несколькими способами, например, увеличив объем валового продукта, уменьшив при этом расход энергии.

Это достаточно сложно, особенно если учесть, что Беларусь и так тратит на одну тысячу долларов ВВП (внутреннего валового продукта) всего 370 кг условного топлива (данные за 2001 год). Россия же — около 600 кг, Украина — 910 кг условного топлива. При этом на программы энергоснабжения из бюджета республики из расчета на каждого белоруса выделяется ежегодно четыре доллара, у соседей — около 10 центов. Больше всех заботятся об этом, как ни странно, такие богатые страны Европы, как Австрия и Германия. Они постоянно занимаются поиском нетрадиционных источников энергии, которые могут заменить так называемый мирный атом.

Беларусь тоже решила начать использовать местные виды топлива. Правда, даже по самым оптимистическим прогнозам, они могут покрыть лишь 15 % потребности (около 500 тыс. тонн условного топлива в год), так что докупать придется много. Льготная продажа газа населению постепенно отмирает. Есть у нас и своя нефть, но ее добыча с каждым годом будет сокращаться. Если в 2003 году добывалось около миллиона тонн, то в 2005 году эта цифра в два раза меньше: местные скважины себя исчерпали, а разработка новых залежей стоит дорого.

В связи с этим планируется увеличить добычу торфа и полнее использовать лесные ресурсы. По подсчетам Комитета по энергоэффективности при Совете Министров республики, из добываемых ежегодно 15 млн. м<sup>2</sup> древесины, идущих на производство мебели и целлюлозы, 30...40 % — отходы, которые просто пропадают. Их решили использовать для целей теплоэнергоснабжения. Нашлись и готовые участвовать в эксперименте предприятия: «Молодечнолес», получивший для этого грант в три миллиона долларов из европейских экологических фондов, «Стройдеталь» из Вилейки и птицефабрика «Олеховичи». Все затраты на проект окупятся в среднем через три года.

Другие на первый взгляд заманчивые идеи и предложения Европы для нас слишком рискованны и вряд ли оправданны. Немецкое правительство, чтобы поддержать своих сельхозпроизводителей, отапливает рейхстаг рапсовым маслом. В Гомельской области тоже пробовали переводить на него отечественный комбайн, но в результате заправка дизельным топливом все-таки пока оказалась дешевле. Датским установкам, улавливающим ветер и производящим электроэнергию, наши условия не совсем подходят. Белорусские ученые ведут собственные разработки ветроустановок, но об их массовом применении речи пока не идет. Производство биогаза (биоэтанола), о котором нынче много говорят, тоже пока не по карману республике, а технологии и оборудование, которые есть в Европе, слишком дороги.

Для Беларуси основными видами топлива являются:

- торф;
- древесно-растительная масса;
- отходы гидролизного производства (лигнин);
- бурый уголь;
- энергия солнца и ветра.

В поселке Дружная, расположенном на берегу самого большого белорусского озера Нарочь, установлены две ветро- и энергетические установки, способные полностью обеспечить жителей электроэнергией. Поселок после чернобыльской катастрофы был построен немецкими и белорусскими волонтерами, а все его жители – это переселенцы из загрязненных радиацией районов. Первая ветроустановка построена за счет частных пожертвований, собранных в Германии благотворительной организацией «Дома вместо Чернобыля», а вторую наполовину профинансировало немецкое правительство.

Еще одна государственная идея белорусского комитета по энергосбережению – энергоустановки на биотопливе и ветряки. Профессиональные энергетики раскритиковали данные предложения, поскольку ни одна ветроустановка не заменит постоянный источник тока. «Срок окупаемости нетрадиционных источников энергии очень велик. Инвестору нужны гарантии, что преференции сохранятся и через 10...15 лет».

Постоянное госфинансирование позволяет руководству Комитета по энергоэффективности мечтать о новомодных явлениях в энергетике,

в то время как износ основных фондов в энергосистеме превышает 60 % и постепенно приближает крупные энергостанции и систему в целом к опасной черте.

2. Утилизацию отходов производства (в первую очередь на предприятиях, выпускающих столярные изделия).

3. Децентрализацию отопительных систем (1 котел – 1 дом). Это уже с успехом применяется во всех развитых зарубежных странах.

Это локальные и крышные эффективные контейнерные котельные (даёт 16 % снижения потерь) на газовом топливе, дизельном или печном. В Беларуси их изготавливает предприятие «Гродножилстрой».

Первый энергосберегающий дом построен в Минске на ул. Гая. Он невысок – пять этажей, в нем 22 квартиры, причем все только трех- и четырехкомнатные. Первый этаж нежилой, здесь находятся гараж, медико-оздоровительный центр с небольшим бассейном, промтоварный магазин. Но главное – впервые в Минске при строительстве жилого дома применена автономная газовая котельная.

Расположенная на крыше дома котельная фирмы «Buderus» работает в импульсивном режиме. Это позволяет регулировать температуру подаваемого тепла буквально в каждой комнате. А современные изоляционные материалы, рациональное планировочное решение, тройное остекление оконных проемов помогают существенно снизить как теплопотери, так и расходы на подогрев воды. При аварийной ситуации (например, перестанет поступать газ) котельная может работать на солярке.

4. Утилизация вторичных источников тепла:

- использование тепла воздуха, уходящего из квартир;
- утилизация бытовых газов от печей.

5. Внедрение *поквартирного отопления* с использованием автоматизированных теплогенераторов на газотопливе с КПД, превышающем 90 %. В Гомеле, например уже эксплуатируются такие здания.

*Выгоды и эффективность данного мероприятия*

Госстрой России с 1999 года проводит эксперимент по строительству и эксплуатации многоэтажных домов с поквартирным отоплением. Потребитель получает возможность достичь максимального теплового комфорта и сам определяет уровень собственного обеспечения теплом и горячей водой. В этом случае снимается проблема

перебоев с теплом и горячей водой по техническим, организационным и сезонным причинам. Так, при данной системе стоимость коммунальных услуг на теплоснабжение и горячее водоснабжение на семью из четырех человек может уменьшиться до 6 раз по сравнению со снабжением по централизованной системе. Это происходит потому, что при индивидуальном отоплении исключаются потери тепла в сетях теплоцентралей. И благодаря отсутствию тепловых пунктов экономятся денежные ресурсы. Обеспечение теплом и горячей водой переключается с государства на конечного потребителя – владельца жилья. Все эти факторы приводят к экономии потребления энергоресурсов, снижают затраты бюджетов разных уровней на топливно-энергетическое обеспечение.

Отопление частного жилища и тепловой комфорт полностью находятся в руках хозяина дома. В связи с относительной дешевизной газа до 2007 года около половины эксплуатируемых котлов – газовые.

Наиболее существенные *преимущества поквартирного отопления*:

1. Высокая энергетическая эффективность и, как следствие, экономия газа, а также значительное сокращение выброса вредных веществ в атмосферу.

2. Возможность регулирования режимов теплоснабжения каждым пользователем в отдельности в соответствии с личными потребностями.

3. Низкие капитальные затраты и отнесение их на счет владельцев квартир.

4. Удобство технического обслуживания сервисными службами, когда на одном объекте обслуживается 100...200 однотипных, сравнительно простых котлов.

5. Удобство оплаты потребляемых теплоресурсов по показаниям газового счетчика.

Для отопления примерно 10 м<sup>2</sup> хорошо утепленного помещения с высотой потолков до 3 метров требуется 1 кВт мощности котла.

Основная доля выпуска котлов (40...50 %) приходится на агрегаты мощностью 23...24 кВт.

6. Одно из наиболее простых и доступных направлений энергосбережения – *установка приборов учета* потребления тепловой энергии и воды. Сами приборы учета не экономят энергию, но они заставляют и потребителей и производителей серьезнее отнестись к

проблеме. Потребитель платит только за фактически потребленные энергоресурсы. Установка приборов учета окупается за 4 года.

Более сложный, но дающий больший экономический эффект метод – установка приборов регулирования подачи энергии и температуры теплоносителя в системе отопления. Но эти приборы дороги.

Единственная общеизвестная программа Госкомитета по энергосбережению, предшественника Комитета по энергоэффективности, – внедрение приборов учета воды и тепла в каждую квартиру. Но, как сказал директор Департамента экономики ТЭК Министерства экономики Роман Ширма в 2003 году: «Нереально считать потребление теплоты по каждой квартире, это очень дорого».

Одно из условий для успешного внедрения этого мероприятия – высокая стоимость энергоресурсов. В этом случае жильцы сами будут настаивать на установке в квартирах счетчиков тепла.

7. Внедрение новых технологических решений для изготовления эффективных, уменьшающих потери теплоты теплоизоляционных материалов; для сравнения: производство эффективных волокнистых утеплителей на 1000 жителей (США – 238 м<sup>3</sup>, Япония – 200 м<sup>3</sup>, Швеция – 240 м<sup>3</sup>, Россия – 62 м<sup>3</sup>, Беларусь – около 50 м<sup>3</sup>);

- повышение пустотности керамического кирпича до 40...60 % за счет выгорающих добавок (реальный выпуск на заводе «KNAUF – Победа» (Санкт-Петербург); Радошковичский керамический завод (Беларусь));

- снижение плотности конструктивного ячеистого бетона с 900...1200 кг/м<sup>3</sup> до 400...500 кг/м<sup>3</sup> и менее – ОАО «Забудова» (п. Чисть Молодечненского района, Беларусь). Этот материал превосходит традиционные стеновые материалы по способности удерживать тепло;

- производство эффективной волокнистой теплоизоляции (минеральной ваты – ОАО «Гомельстройматериалы» и ГПП «Березастройматериалы»), но надо стремиться применять экологически чистое связующее.

Чем меньше энергопотребление, тем меньше наносится вреда природе. Широко используемый пенополистирольный пенопласт не вполне безопасен!

Все проблемы снижения теплопотерь можно решить только путем применения эффективных утеплителей с  $\rho_0 < 200 \text{ кг/м}^3$  и  $\lambda = 0,05...0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

Утеплители с более высокими значениями не эффективны!

Эффективные утеплители позволят увеличить термическое сопротивление ограждающих конструкций до  $R_T = 3,5 \dots 5,0$  ( $\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$ )/Вт.

8. Внедрение электрогенерирующего оборудования, строительство новых теплотрасс и ремонт тепловых сетей только применяя предварительно изолированные трубы с эффективной изоляцией (ПИ-трубы).

9. Тепловая модернизация существующего жилого фонда, т.е. увеличение термического сопротивления элементов ограждающей конструкции (стен, крыш, перекрытий, окон).

10. Уплотнение притворов и заполнение проемов и сопряжений элементов в наружных стенах и покрытиях.

Для внедрения всех мероприятий необходимо 37 млрд. бел. рублей или 16 млн. долларов США.

Основным источником энергии на ближайшую перспективу станет ее экономия.

Наиболее эффективные мероприятия, влияющие на энергосбережение, приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5.

### Энергосберегающие ресурсы и их эффективность

Мероприятия по энергосбережению	Экономия тепловой энергии, %
1	2
Использование наружных ограждений с повышенными теплозащитными качествами	До 40
Дополнительное утепление наружных ограждений	15...20
Восстановление герметичности стыков и уплотнений в оконных и дверных проемах	До 60...70
Применение конструкций ограждений (стен, крыш, светопрозрачных участков), утилизирующих тепло уходящего воздуха	10...12
Применение конструкций ограждений, предназначенных для использования при отоплении нетрадиционных видов энергии	14...17
Использование энергоэкономичных форм и атриумного пространства в объемно-планировочном решении здания	До 35
Оптимальная ориентация отдельно стоящего здания или групп зданий	3...18

1	2
Блокировка отдельно стоящих зданий	10...15
Уплотнение городской застройки	до 40
Оптимизация размеров светопрозрачных участков ограждений	10 и более
Совершенствование методов теплотехнического расчета	6...8

Как правило, энергоэкономичность проектного решения здания обеспечивают совместным проведением нескольких мероприятий. Поэтому при комплексной оценке энергоэкономичности проекта возможно, что относительный вклад каждого из отдельных мероприятий (см. табл. 1.5) может быть несколько меньшим.

## 2. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА РЫНКЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

### 2.1. Общие сведения

*Теплоизоляционный материал (ТИМ)* – строительный материал, применяемый в качестве тепловой изоляции (т.е. для уменьшения теплообмена с окружающей средой) ограждающих строительных конструкций, зданий (сооружений) промышленного, энергетического и технологического оборудования, трубопроводов и для изготовления теплоизоляционных изделий, а также в строительстве аэродромов и в холодильной промышленности.

*Теплоизоляционное изделие* – теплоизоляционный материал в форме изделия (плиты, маты, цилиндры, полуцилиндры и т.д.).

Теплоизоляционные материалы при температуре +25 (или 10) °С характеризуются низкой теплопроводностью (коэффициент теплопроводности  $\lambda \leq 0,18$  Вт/(м · К), высокой пористостью (70...98 %), незначительными средней плотностью ( $\rho_0 \leq 600$  кг/м<sup>3</sup>) и прочностью (предел прочности при сжатии 0,05...2,5 МПа).

### 2.2. Что такое эффективные теплоизоляционные материалы?

В принципе, любой строительный материал является теплоизоляционным. Главное – это его эффективность в этом качестве. Но здесь не все так просто, как представляется на первый взгляд: на-



пример, такой ничтожный в теплоизоляционном плане материал, как сталь, будучи определенным образом размещенным в составе наружной ограждающей конструкции, может внести свою заметную лепту в защиту здания от холода, жары и сырости.

С помощью современных эффективных теплоизоляционных материалов можно решить две задачи:

1) сокращение потерь при выработке и транспортировке тепла от котельных до потребителей;

2) сокращение потерь тепла конечными потребителями.

Важность такого разделения подтверждает тот факт, что, по некоторым данным, эксплуатация действующих сегодня в Беларуси теплосетей влечет за собой потерю 30...40 % выработанного тепла.

Температура воды ( $t$ ) в теплотрассе на входе здания должна быть 95 °С. Реально она варьирует от 48 до 75 °С.

Теплоизоляционные материалы предназначены для защиты от *потерь* тепла в наружных ограждениях, трубах, в оборудовании; а также для защиты некоторых помещений и оборудования (холодильники) от *проникновения* (притока) тепла.

Применение теплоизоляционных материалов – одно из важнейших направлений технического прогресса, имеющих целью снижение материалоемкости строительства и сокращение расхода топлива. Так, использование в производственных зданиях ограждений из асбестоцементных панелей, заполненных минераловатными плитами, по сравнению с типовыми железобетонными конструкциями позволяет снизить в 3 раза массу ограждающих конструкций, трудоемкость монтажа в 1,8...2 раза, сократить сроки строительства в 1,5...2 раза. Применение облегченных кирпичных стен с эффективными утеплителями взамен сплошной кирпичной кладки позволяет в 2–2,5 раза сократить транспортные затраты и потребность в кирпиче, древесине, цементе и извести примерно на 30 % – затраты на сооружение зданий.

Применение ТИМ имеет важное технико-экономическое значение, например, если для теплоизоляции 1 м<sup>2</sup> наружной стены жилого дома требуется 0,64 м<sup>3</sup> кирпича или 0,32 м<sup>3</sup> керамзитобетона, то фибролита потребуется только 0,14 м<sup>3</sup>, минераловатных плит 0,1 м<sup>3</sup> и поропласта 0,04 м<sup>3</sup>.

Теплоизоляционные материалы существенно улучшают комфорт в жилых помещениях, защищают части зданий от температурных колебаний и обеспечивают долговечность строительных конструкций.

Применение ТИМ позволяет уменьшить температуру теплоносителя, что исключает сухую возгонку пыли, устраняет повышенную сухость воздуха, позволяет создать однородность термального поля в жилище и нормализовать температурно-влажностной режим.

Основной источник снижения расхода топлива при применении теплоизоляционных материалов в ограждающих строительных конструкциях — *уменьшение затрат тепловой энергии на отопление зданий*. Затраты на отопление увеличиваются обратно пропорционально расчетному термическому сопротивлению теплопередачи стены:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт},$$

которое, в свою очередь, связано с плотностью применяемых материалов  $\rho_0$ . Рассчитано, например, что на создание стены из бетонных панелей со средней плотностью  $550 \text{ кг/м}^3$  затрачивается на 40...45 % меньше условного топлива, чем на стену из панелей с плотностью  $900 \text{ кг/м}^3$ .

В среднем энергоемкость используемых материалов в настоящее время составляет от 90...95 до 50...55 кг у.т. на  $1 \text{ м}^2$  наружных стен при применении эффективных ТИМ. Экономия может составить 3,5...5 млн. т у.т. в год.

Использование  $1 \text{ м}^3$  ТИМ в зданиях экономит ежегодно 2,5 т у.т.

Для Республики Беларусь, где вопрос экономии энергоресурсов в настоящее время имеет первостепенное значение, применение эффективных ТИМ является особенно актуальным.

Теплоизолируя здания и снижая их тепловые потери, можно обеспечить около 15 % общей экономии топлива.

Значительного снижения тепловых потерь можно добиться путем применения теплоизоляционных материалов для изоляции тепловых агрегатов, технологической аппаратуры и трубопроводов. Использование, например, 1 т эффективных теплоизоляционных материалов для трубопроводов и других объектов позволяет экономить до 200 т у.т. в год.

## 2.3. Классификация теплоизоляционных материалов

Характерным классификационным признаком для теплоизоляционных материалов является вид исходного основного сырья. В зависимости от него различают:

- *неорганические* – производимые на основе минерального волокна (каменная (базальтовая), шлаковая, каолиновая и стеклянная вата; ячеистые бетоны; ячеистое стекло; материалы на основе асбеста; керамические (керамзит) и др.);
- *органические* – древесно-волоконистые (ДВП) и древесно-стружечные (ДСП) плиты, соломит, камышит, торфяные плиты, материалы из ячеистых пластмасс (пено- и поропласты), сотопласты и др. Их нельзя использовать для изоляции горячих поверхностей.

Изготавливают также *композиционные* (смешанные) материалы, состоящие из неорганического и органического сырья (фибrolит, арболит, минеральные волокна с органическими связующими).

Изделия, изготовленные из смеси органического и неорганического сырья, относят к неорганическим, если количество последних в смеси превышает 50 % по массе.

По назначению ТИМ могут применяться для изоляции холодных и горячих (раскаленных) поверхностей; на последние наносят только неорганические материалы.

В зависимости от *структуры* (строения) теплоизоляционные материалы делятся на:

- волокнистые (минераловатные, стекловолоконистые и др.);
- зернистые сыпучие (перлитовые, вермикулитовые, совелитовые, известково-кремнеземистые);
- ячеистые мелкопористые (изделия из ячеистых бетонов, ячеистое стекло (пеностекло), пенопласты);
- пластинчатые (воздушные прослойки заключены между листами материала).

*Волокнистое* строение присуще материалам из минерального или органического волокна (асбест, минеральная (базальтовые волокна) и стеклянная вата, растительные волокна и др.), а также плиты древесно-волоконистые и льнокожричные.

*Зернистое* строение имеют сыпучие материалы. Пористость сыпучей массы зависит от ее зернового состава. Чем однороднее по

форме и размерам зерна, тем больше просветы между ними и тем выше пористость материала в насыпном виде (перлит, совелит, шлак, керамзит, песок).

Для материалов *ячеистого* строения характерны однородные и равномерно распределенные поры, форма которых обычно близка к сферической (ячеистые бетоны, газостекло, газонаполненные пластмассы, такие как, например, пенополистирол и другие ячеистые пластмассы).

*Пластинчатое* строение характерно для материалов, содержащих в своем составе листочки слюды, которые предварительно при быстром нагревании вспучиваются за счет отщепления у слюды связанной воды (вспученный вермикулит).

По *форме и внешнему виду* ТИМ бывают:

– штучные плоские жесткие (плиты, блоки из газостекла, кирпич) или штучные фасонные (цилиндры, полуцилиндры, скорлупы, сегменты);

– рулонные волокнистые (маты, минерально-ватные полосы, листы, войлок);

– шнуровые (шнуры, жгуты);

– сыпучие, зернистые порошкообразные (вспученный перлитовый песок и вермикулит) и рыхлые (вата минеральная, стекловата).

В зависимости от *плотности* теплоизоляционные материалы делятся на четыре группы (ГОСТ 16381-77):

1) особо низкой плотности (ОНП) с марками плотности 15, 25, 35, 50, 75 кг/м<sup>3</sup>;

2) низкой плотности (НП): 100, 125, 150, 175;

3) средней плотности (СП): 200, 225, 300 и 350;

4) плотные (П): 400, 450, 500 и 600.

Марка ТИМ показывает плотность материалов  $\rho_0$  в кг/м<sup>3</sup>. Например: D15, D25, D50, D100, D125, D150, D175, D200, D250, D300, D350, D400, D500, D600.

По содержанию связующего вещества материалы и изделия подразделяют на содержащие связующее вещество и не содержащие его.

Теплоизоляционные изделия в зависимости от *области применения* (по назначению) подразделяют на две группы:

– *теплоизоляционные строительные* (ТС), предназначенные для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений;

– *теплоизоляционные технические* (ТТ) – монтажные, предназначенные для тепловой изоляции инженерного оборудования

зданий, промышленного оборудования и трубопроводов, в т.ч. для низкотемпературной изоляции промышленных объектов и холодильников.

По жесткости, т.е. по величине относительного сжатия (по сжимаемости, %) при определенном усилии, материалы делятся на 5 видов: М, П, Ж, ПЖ (повышенной жесткости), Т.

К жестким (Ж) относят материалы, имеющие при давлении  $40 \text{ Н/см}^2$  относительную деформацию сжатия до 6 %. При относительной деформации сжатия от 6 до 30 % материалы считают полужесткими (П), более 30 % – мягкими (М).

По возгораемости (горючести) материалы бывают:

- негоряемые (минеральная вата, ячеистые бетоны и стекло);
- трудногоряемые (цементный фибролит);
- сгораемые (ДВП).

По величине теплопроводности при температуре 25 или 10 °С ТИМ делят на три класса:

- 1) малотеплопроводные (низкой) – класс А (меньше  $0,058 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ );
- 2) среднетеплопроводные (средней) – класс Б ( $0,058 \dots 0,116 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ );
- 3) повышенной теплопроводности – класс В (не более  $0,175 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ).

Теплопроводность высокопористых материалов близка к теплопроводности воздуха –  $0,023 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .

Для показателей теплопроводности в странах ЕС в 2005 году произошли изменения в системе определения декларируемого значения коэффициента  $\lambda_D$ . По старым стандартам декларируемое значение  $\lambda_D$  выбиралось как оптимальное (среднее) в выборке, полученной в ходе испытаний отобранных образцов.

Новый стандарт предполагает использование значения  $\lambda$  с обеспеченностью 90/90. Это означает, что данный показатель будут иметь 90 % продукции в 90 % проведенных испытаний:

$$\lambda_D = \lambda_{90/90};$$

$$\lambda_{90/90} = \lambda_{\text{среднее}} + kS_{\lambda},$$

где  $\lambda_{90/90}$  – коэффициент теплопроводности 90 % продукции с обеспеченностью 90 %;

$k$  – коэффициент, зависящий от номера испытания, %;

$S_\lambda$  – коэффициент отклонения.

Определение показателя  $\lambda$  производится при температуре 10 °С, что ближе к реальным условиям эксплуатации теплоизоляции, нежели отечественная норма в 25 °С.

Декларируемая лямбда или  $\lambda_D$ ,  $\lambda_{(DECLARED)}$  показывает, насколько хорош теплоизоляционный материал, и  $\lambda_D$  определяется в Вт/(м · °С) или Вт/(м · К).

Для того чтобы покупатели могли сразу оценить теплоизоляционные характеристики материала, производители начинают вводить показатели  $\lambda_D$  как индексы в названиях материалов. Для упрощения восприятия показатель  $\lambda_D$  указывают в Вт/(м · °С). Например, индекс 37 показывает, что  $\lambda_D = 0,037$  Вт/(м · °С), а индекс 40 – что  $\lambda_D = 0,040$  Вт/(м · °С).

**Расчетный коэффициент теплопроводности  $\lambda$ .** Изменения коснулись и расчетных показателей коэффициента теплопроводности. Раньше расчетная  $\lambda$  принималась как коэффициент теплопроводности сухого материала, увеличенный на расчетный коэффициент. При этом не учитывалась разница в условиях работы теплоизоляции в различных конструкциях. Например, вентилируемая теплоизоляция будет находиться в более сухих условиях эксплуатации, нежели теплоизоляция под слоем штукатурки.

Сейчас расчетная лямбда  $\lambda_d$  или  $\lambda_{design}$  принимается равной  $\lambda_D$ :

$$\lambda_d = \lambda_D.$$

Поправочный коэффициент вводится для термического сопротивления  $R$  всей ограждающей конструкции. Он зависит от влажностных условий эксплуатации ограждения, а различные конструкции по-разному увлажняются и избавляются от влаги.

Важное значение для использования ТИМ имеют также предельная температура применения, прочность, деформативность, огне- и биостойкость, паропроницаемость и другие характеристики качества.

Из приведенной выше классификации видно, что функцию теплоизоляционных могут выполнять материалы со средней плотностью (плотностью материала) до  $600 \text{ кг/м}^3$ . Для эффективных теплоизоляционных материалов средняя плотность  $\rho_0$  не должна быть выше  $400 \text{ кг/м}^3$ , а у некоторых из них (газонаполненные пластмассы, минераловатные изделия на синтетических связующих) она может быть и значительно ниже (до  $50 \dots 100 \text{ кг/м}^3$ ).

Отечественные (белорусские) эффективные теплоизоляционные материалы – это пенополистирол («Сармат») и каменная вата («Гомельстройматериалы»).

При выборе ТИМ следует учитывать потребительские свойства продукции во всей их совокупности. Среди этих свойств важнейшими являются долговечность теплоизоляционного материала и стабильность декларируемых показателей в течение всего срока его службы.

Средняя плотность  $\rho_0$  ТИМ – один из главнейших показателей их теплоизолирующих качеств: чем меньше плотность материала, тем выше его качество. Средняя плотность выпускаемых белорусской промышленностью теплоизоляционных материалов  $15 \dots 600 \text{ кг/м}^3$ . Самые легкие материалы – это пористые газонаполненные пластмассы с минимальной плотностью  $15 \dots 25 \text{ кг/м}^3$ . Как правило, с повышением плотности материала увеличивается теплопроводность (отрицательный показатель), но также увеличивается и прочность (положительный показатель).

#### 2.4. Основные технические характеристики теплоизоляционных материалов

Основными показателями качества, характеризующими эффективность ТИМ, являются:

- средняя плотность материала в сухом состоянии  $\rho_0$ ,  $\text{кг/м}^3$ ;
- удельная теплоемкость в сухом состоянии  $c$ ,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;
- коэффициент теплопроводности в сухом состоянии и расчетный коэффициент теплопроводности при соответствующих условиях эксплуатации  $\lambda$ ,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- расчетное количество влаги по массе в материале при соответствующих условиях эксплуатации  $W$ , %;
- расчетный коэффициент теплоусвоения (при периоде 24 ч) при соответствующих условиях эксплуатации  $S$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

расчетный коэффициент паропроницаемости при соответствующих условиях эксплуатации  $\mu$ , мг/(м · ч · Па).

Основным показателем для теплоизоляционных материалов, определяющим их качество, является *пористость*. Теплоизолирующую способность материала определяет не только общая пористость, но также и характер, размер и положение пор.

Пористость определяет основные свойства теплоизоляционных материалов: плотность  $\rho_0$ , теплопроводность  $\lambda$ , прочность  $R$ , газопроницаемость и др.

На теплозащитные свойства материалов благоприятно влияют *уменьшение размера пор*, затрудняющее теплопередачу конвекцией и лучеиспусканием, а также усложнение химического состава и приближение структуры материала к аморфной. Кристаллическая решетка является хорошим проводником тепла.

Обычно пористость ТИМ превышает 50 %, а некоторые наиболее эффективные теплоизоляционные материалы, например, ячеистые пластмассы, как бы построены из воздуха (поры занимают 90...98 %, а стенки пор – всего лишь 2...10 % от общего объема).

Поры в теплоизоляционном материале при изготовлении создаются введением в сырую массу газообразующих добавок, вспениванием массы, склеиванием или спеканием отдельных зерен материала, взаимоположением волокон и пр.

Различают поры: замкнутые и открытые, крупные и мелкие. Более высокими теплоизоляционными характеристиками обладают материалы, имеющие мелкие замкнутые поры (при равной пористости), заполненные воздухом, который в неподвижном состоянии обладает очень малой теплопроводностью:  $\lambda = 0,023$  Вт/(м · К) при температуре 20 °С. Неподвижное состояние воздуха в мелких замкнутых порах обеспечивает лучшее использование этого его свойства, так как воздух, находящийся в движении, содействует переносу тепла (конвекции). Вот почему крупнопористые, раковистые материалы с вытянутыми открытыми порами, создающими условия для возникновения конвекционных потоков воздуха, более теплопроводны, чем материалы с мелкими замкнутыми порами. Чем меньше объем воздуха, заключенного в отдельных порах, тем меньше его подвижность и тем лучше теплоизолирующие свойства.



Соотношение объемов воздуха, находящегося в порах, и твердого вещества, образующего материал, также влияет на теплоизоляционные свойства материала: чем меньше средняя плотность  $\rho_0$  теплоизоляционного материала, тем меньше его теплопроводность  $\lambda$ . Можно сказать, что теплопроводность пропорциональна плотности материала,  $\lambda = f(\rho_0)$ , т.е. содержанию в нем твердого вещества. Для высокопористых материалов, в которых масса твердого вещества очень мала, теплопроводность приближается к теплопроводности воздуха.

Следующим показателем, определяющим качество теплоизоляционных материалов, является теплопроводность.

Степень теплопроводности материала характеризуется величиной коэффициента теплопроводности  $\lambda$ .

**Теплопроводность** – способность материала передавать теплоту сквозь свою толщину, так как именно от последней напрямую зависит термическое сопротивление  $R$  ограждающей конструкции. Количественно теплопроводность определяется коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , выражающим количество тепла  $Q$ , проходящего через образец материала толщиной 1 м и площадью 1 м<sup>2</sup> при разности температур  $\Delta t$  на противоположащих поверхностях 1,0 °С за 1 час. Коэффициент теплопроводности в справочной и нормативной документации имеет размерность Вт/(м · °С) или Вт/(м · К).

На величину теплопроводности теплоизоляционных материалов оказывают влияние вид, размеры и расположение пор (пустот) и т.д.

Методики измерения теплопроводности в разных странах значительно отличаются друг от друга, поэтому при сравнении величин теплопроводностей различных материалов необходимо указывать, при каких условиях проводились измерения.

Из всех сред, не считая безвоздушного пространства, самой малой теплопроводностью обладает воздух, особенно когда он заключен в порах материала, т.е. малоподвижен, при  $t = +20$  °С  $\lambda = 0,023$  Вт/(м · °С),  $\lambda = 0,0306$  Вт/(м · °С) при 100 °С.

При эксплуатации теплоизоляционных материалов с *повышением* окружающей температуры теплопроводность большинства материалов *линейно возрастает* и только в редких случаях она понижается (магнезитовые огнеупоры).

Увлажнение ТИМ и тем более замерзание воды в его порах ведет к резкому увеличению теплопроводности, так как теплопроводность воды

( $\lambda_{\text{H}_2\text{O}} = 0,58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ) примерно в 25, а льда ( $\lambda = 2,32 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ) в 100 раз больше, чем воздуха. Поэтому в эксплуатационных условиях теплоизоляционные материалы необходимо *предохранять от увлажнения*.

Важной эксплуатационной характеристикой теплоизоляционных материалов является *предельная температура применения*. Предельная температура применения, например, вспученного перлита и вермикулита – 900, минеральной ваты – 600, ячеистых бетонов – 400...700, газонаполненных пластмасс – 60...180 °С.

*Прочность на сжатие*  $R_{\text{сж}}^{10\%}$  (МПа) – это величина усилия (Н), действующего на площадь поперечного сечения образца ( $\text{мм}^2$ ) и вызывающего изменение толщины изделия на 10 %.

Прочность теплоизоляционных материалов должна быть достаточной для их складирования, транспортирования, монтажа и использования в течение требуемого срока. Прочность при сжатии – до 5 МПа и при изгибе для наиболее распространенных теплоизоляционных материалов – от 0,1 до 1,5 МПа.

*Сжимаемость* – способность материала изменять толщину под действием заданного давления. Она характеризуется относительной деформацией материала при усилении 2 кПа.

При выборе области применения теплоизоляционных материалов учитываются их огнестойкость, химическая и биологическая стойкость, водопоглощение, газо- и паропроницаемость и ряд других свойств.

Важна также хорошая *лагоотдача* – способность материала отдавать влагу при снижении влажности воздуха.

*Водопоглощение* – способность материала впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосредственном контакте с водой. Водопоглощение теплоизоляционных материалов характеризуется количеством воды, которое впитывает сухой материал при выдерживании в воде, отнесенным к массе или объему сухого материала. Водопоглощение должно быть как можно ниже. Для снижения водопоглощения ведущие производители ТИМ вводят в них гидрофобизирующие добавки.

*Сорбционная влажность* – равновесная гигроскопическая влажность материала при определенных условиях в течение заданного времени. С повышением влажности теплоизоляционных материалов повышается их теплопроводность.

**Морозостойкость** – способность материала в насыщенном влагой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения. От этого показателя существенно зависит долговечность всей конструкции, однако данные по морозостойкости для ТИМ не приводятся в СТБ, ГОСТ или ТУ.

**Паропроницаемость** – способность материала обеспечивать диффузионный перенос водяного пара из жилого помещения наружу. Диффузия пара характеризуется сопротивлением паропроницаемости ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ ). Паропроницаемость ТИМ во многом определяет влагоперенос через ограждающую конструкцию в целом. В свою очередь, последний является одним из наиболее существенных факторов, влияющих на термическое сопротивление  $R_t$  ограждающей конструкции. В большинстве случаев требуется высокая паропроницаемость.

Во избежание накопления влаги в многослойной ограждающей конструкции и связанного с этим падения термического сопротивления паропроницаемость слоев должна расти в направлении от теплой стороны ограждения к холодной.

**Воздухопроницаемость.** Теплоизолирующие показатели материала тем выше, чем ниже воздухопроницаемость ТИМ. Мягкие изоляционные материалы настолько хорошо пропускают воздух, что его движение приходится предотвращать путем применения специальной *ветрозащиты*. Жесткие изделия, в свою очередь, обладают хорошей воздухопроницаемостью и не нуждаются в каких-либо специальных мерах защиты. Они сами могут применяться в качестве ветрозащиты.

При устройстве теплоизоляции наружных стен и других вертикальных конструкций, подвергающихся напору ветра, следует помнить, что при скорости ветра 1 м/с и выше целесообразно оценивать необходимость ветрозащиты.

**Коэффициент температуропроводности** является мерой теплоинерционных свойств металлов:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho_0}, \text{ м}^2/\text{ч}.$$

**Огнестойкость** – способность материала выдерживать воздействие высоких температур без воспламенения, нарушения структуры,

прочности и других свойств, т.е. показывает, как долго материал способен сопротивляться огню. По группе горючести теплоизоляционные материалы подразделяют на *горючие* и *негорючие*. Это является одним из важнейших критериев выбора теплоизоляционного материала.

В строительстве ТИМ находят применение в ограждающих однослойных и слоистых конструкциях для обеспечения ими необходимых теплофизических свойств и нормального микроклимата в помещениях.

В малоэтажном строительстве прочность кирпичной кладки используется в среднем на 15...20 %. Большую часть кирпичных стен можно заменять менее прочными, но теплотехнически более эффективными материалами. При повышенной влажности внутри помещений (бани, животноводческие фермы) с внутренней стороны утеплителя необходимо устраивать слой пароизоляции.

*Идеальная теплоизоляция* – это вечная, экологически абсолютно безвредная, невещественная изоляция, на производство которой к тому же не надо тратить энергию. Такой теплоизолятор есть – это пустота (вакуум). Проблема ее использования заключается в конструктивно-технологическом оформлении во избежание лучистого теплообмена (теплопередачи и конвективного теплообмена в вакууме нет).

## **2.5. Теплоизоляционные материалы на неорганической основе**

Наибольшее распространение в строительстве получили теплоизоляционные бетоны, это как газонаполненные ячеистые бетоны – газобетон, пенобетон, так и бетоны на основе легких заполнителей (керамзитобетон, перлитобетон, полистиролбетон, пенополистиролбетон и др.).

Теплоизоляционные материалы на неорганической основе подразделяются:

- на изделия из минеральной ваты и изделия из стекловолнока;
- пеностекло (ячеистое стекло);
- ячеистые бетоны;
- асбестосодержащие засыпки и изделия;
- пористые заполнители (керамзит, вспученные перлит и вермикулит).

По форме выпускаемой продукции делятся на:

1. Штучные:

1.1) волокнистые:

- плиты минераловатные на синтетической связке:  
мягкие;  
полужесткие;  
жесткие;  
повышенной жесткости;  
твердые;

1.2) ячеистые:

- изделия из ячеистых бетонов;
- плиты перлитоасбестокаолиновые;
- блоки и плиты из газостекла.

2. Рулонные:

- маты минерально-ватные.

3. Рыхлые волокнистые:

- вата минеральная.

4. Сыпучие зернистые:

- щебень аглопоритовый;
- щебень керамзитовый;
- гравий керамзитовый.

### ***2.5.1. Минеральная (каменная) вата***

Примерно 70 % всего объема теплоизоляционных материалов составляют минераловатные изделия. Для их изготовления имеется огромная сырьевая база. Минеральная вата состоит в основном из стекловидных волокон диаметром 2...20 мкм ( $\varnothing$  5...15) и длиной  $l = 20...40$  мм, получаемых из силикатных расплавов, и сырьем для нее служат металлургические и доменные шлаки, осадочные (мергели, каолины) и изверженные (базальт, диабаз) горные породы.

Известные своим высоким качеством минераловатные теплоизоляционные материалы, например торговых марок «Rockwool» (Дания) и «Paroc» (Финляндия), изготавливаются из базальта. Его плотность  $\rho = 2900...3300$  кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 110...150 МПа. Поскольку базальт для белорусских производителей имеет высокую стоимость, они используют указанное местное альтернативное сырье и добились локальных успехов. На Гомельском комбинате строительных материалов освоено производство негорючих минераловатных плит

марок П-75, 125 и 175, а на ГПП «Березастройматериалы» – марки П 125. В результате исследований, проведенных в УП «НИИСМ» (Минск), были разработаны новые составы неорганического связующего и технология производства жестких теплоизоляционных плит марок 100, 150, 200 из минераловатного волокна, получаемого из местных глины и доломита. Изготавливаются эти плиты по способу гидромасс на технологических линиях с шириной ковра 1 или 2 м и производительностью 30...70 тыс. м<sup>3</sup> плит в год. Разработан ТЭР организации производства плит марок 100 и 200 на ПО «Доломит» (Витебск).

Недостатки сырья неизбежно отражаются на качестве минеральной ваты. В частности, доменные шлаки, насыщенные посторонними примесями, содержат много СаО, а значит, делают минеральную вату неустойчивой к воздействию влаги. Что касается глины и доломита, то они имеют высокий процент посторонних примесей и низкую прочность. Толщина более хрупкого волокна раза в 1,5 больше, чем волокна, например, марки «Рагос». Кроме того, недолговечная минеральная вата из шлаков обладает гораздо большим водопоглощением, чем лучшие зарубежные аналоги.

Качественная импортная минеральная вата (каменная вата) удовлетворяет самым жестким требованиям пожарной безопасности. Температура спекания волокон этой ваты составляет примерно 1000 °С, что почти в 2 раза выше, чем волокон стекловаты.

*Производство* минеральной ваты включает две основные технологические операции – получение расплава,  $t = 1500$  °С, и превращение его в тончайшие волокна. Расплав получают, как правило, в шахтных плавильных печах – вагранках или ваннных печах. Превращение расплава в минеральные волокна производится дутьевым или центробежным способом.

При *дутьевом способе* выходящий из печи расплав разбивается на мелкие капельки струей пара или воздуха, который дувается в специальные камеры, и в полете капельки сильно вытягиваются, превращаясь в тонкие волокна диаметром 2...20 мкм и длиной 2...40 мм.

При *центробежном способе* струя жидкого расплава поступает на быстровращающийся диск центрифуги и под действием большой окружной скорости сбрасывается с него и вытягивается в волокна.

Наиболее распространен *комбинированный* центробежно-дутьевой способ образования волокон, включающий применение центробежной силы и дутья.

В зависимости от расположения волокон (структуры) материалы и изделия из минеральной ваты подразделяют:

- на материалы с хаотическим расположением волокон без определенной направленности (минеральная вата);
- изделия с горизонтальным расположением волокон;
- вертикально-слоистые изделия;
- изделия с гофрированной структурой.

По средней плотности минеральная вата делится на марки D75, 100, 125, 150 и 175. Сверхтонкие волокна каменной ваты прочно удерживают воздух, который является отличным тепло- и звукоизолятором.

Теплозвукоизолирующие свойства каменной ваты обусловлены ее пористо-волокнистой структурой, причем в качестве рабочей среды, препятствующей теплообмену, выступает обычный воздух. Теплоизоляционные свойства этого материала не меняются в течение десятков лет. Каменная вата не стареет, она долговечна.

Теплопроводность  $\lambda$  минеральной ваты при температуре  $25 \pm 5$  °С колеблется в зависимости от плотности в интервале  $0,042 \dots 0,046$  Вт/(м · °С).

По сравнению со стекловатой каменная вата поглощает гораздо меньше влаги, что важно при замокании и последующем просушивании изолируемой поверхности. После высыхания изделия из каменной ваты полностью восстанавливают свои свойства.

Одним из важнейших преимуществ каменной ваты как утеплителя является то, что она выдерживает высокую температуру (до  $900 \dots 1000$  °С), не теряя своих свойств. Кроме того, каменная вата обладает высокой химической стойкостью, для нее неопасны тепловое расширение или сжатие, она выделяет очень мало пылевых частиц.

Для предотвращения уплотнения минеральной ваты при транспортировании и хранении ее гранулируют, т.е. превращают в рыхлые комочки-гранулы в дырчатом барабане.

### **Основные изделия на основе минеральной ваты**

Сама минеральная вата является полуфабрикатом, из которого выполняют разнообразные теплоизоляционные минераловатные изделия: войлок, маты, полужесткие и жесткие плиты, скорлупы, сегменты и др. (рис. 2.1).

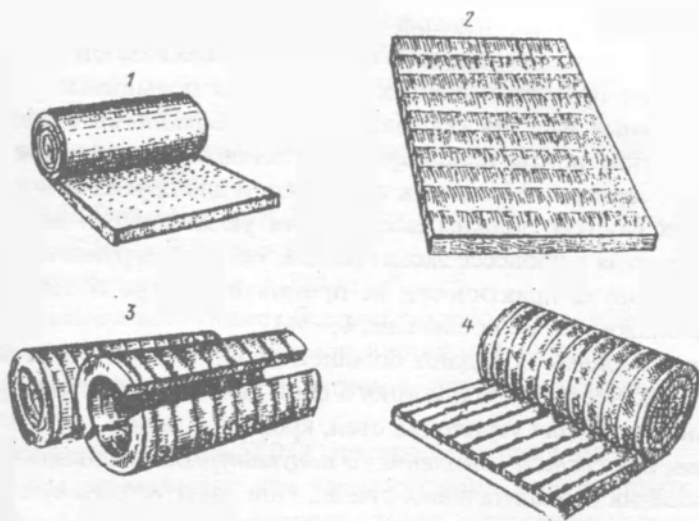


Рис. 2.1. Теплоизоляционные материалы из минеральной ваты:  
1 – войлок; 2 – полужесткая плита; 3 – скорлупы; 4 – прошивной мат

Изделия из каменной ваты не дают усадки, т.е. способны сохранять размеры и форму, а также не подвержены температурной деформации. Таким образом, в местах их примыкания к каркасу и на стыках между плитами не образуется зазоров.

*Минеральный войлок* выпускают в виде блоков листов и рулонов из минеральной ваты, слегка спрессованной и пропитанной дисперсиями синтетических смол.

*Мягкие плиты и минеральные маты* представляют собой минераловатный ковер, заключенный между битуминизированной бумагой, стеклотканью или металлической сеткой, прошитый прочными нитями или тонкой проволокой.

*Плиты минераловатные полужесткие и жесткие* изготавливают путем распыления на минеральное волокно связующего (синтетических смол или неорганического) с последующим прессованием и термообработкой для сушки или полимеризации. Полужесткие изделия применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и горячих поверхностей оборудования при температуре до 200...300 °С, если изделия изготовлены на синтетическом связующем марок D100, D150, D200.



Теплоизоляционные изделия из минеральной ваты на синтетических связующих в определенной степени подвержены влиянию агрессивной среды производственных зданий. Для повышения стойкости минераловатные изделия обрабатывают *гидрофобными веществами*. Маты и мягкие плиты используются в основном для теплоизоляции покрытий и кровель. Можно их применять и для других конструкций, но во всех случаях должны исключаться увлажнение и деформация слоя утеплителя в процессе эксплуатации, т.е. они нагрузки не несут.

Влага воздуха практически не проникает внутрь изделия (сорбционная влажность не превышает 0,4 %).

*Жесткие плиты* обладают большой прочностью и могут использоваться в качестве изоляционного слоя даже под нагрузкой, обычно применяются для утепления стен, кровель и полов.

*Плиты для систем утепления со штукатуркой* предназначены для использования на капитальных стенах. Они дают устойчивую поверхность для последующего нанесения штукатурных слоев. Применение плит «Рагос» под штукатуркой создает внутри здания хороший микроклимат, так как теплоизоляция из каменного волокна «дышит».

*Фасадные плиты* устойчивы к механическим воздействиям, не горят, отталкивают воду. Применяются изделия с облицованной поверхностью.

*Кровельные плиты* способны выдерживать значительные механические нагрузки. Утепление плоских крыш с их помощью очень надежно, так как материал сохраняет форму в течение длительного срока. Их не портят грызуны, они морозостойки.

### **Изделия из минеральных волокон**

В XX веке изделия из шлаковаты были основными материалами, используемыми для теплоизоляции тепловых, коммунальных и других теплопроводов, стеновых панелей, кровель и других объектов. Но в силу своих физико-механических и теплофизических характеристик они не позволяли эффективно и качественно осуществлять теплоизоляцию.

При прокладке теплопроводов изоляционные свойства шлаковаты вследствие ее увлажнения, провисания, слеживания резко снижаются, и в настоящее время теплопотери, по различным данным, составляют 25...45 %.

Эффективный теплоизолятор из базальтового волокна, полученный на центрифуге «Рагос», и особая, без определенной направленности структура волокон обеспечивают большую жесткость. Это ноу-хау концерна «Rockwool».

Технические характеристики минеральной ваты (каменной ваты) «Рагос» и «Rockwool»:

$$\lambda = 0,0320 \text{ Вт/(м·К)}; \quad \rho_0 = 22 \text{ кг/м}^3;$$

$$\lambda = 0,0365 \text{ Вт/(м·К)}; \quad \rho_0 = 90 \text{ кг/м}^3;$$

$$\lambda = 0,045 \text{ Вт/(м·К)}; \quad \rho_0 = 240 \text{ кг/м}^3.$$

Минеральная вата также обладает следующими свойствами:

- негоряема, физически и химически нейтральна;
- мягкие плиты очень эластичны, плотно прилегают к конструкциям;
- стекловолокно при 750 °С практически разрушается.

Объекты применения: для теплоизоляции в деревянных, металлических, кирпичных и бетонных стенах, в строительных конструкциях, в скатных крышах и плоских кровлях.

Минеральная вата также используется как эффективная звуковая и противопожарная изоляция в каркасных перегородках, в трехслойных железобетонных плитах типа «сэндвич» и в виде цилиндров любых размеров.

### 2.5.2. Стекловата

Близкой по свойствам к минеральной вате является *стеклянная вата*, например, фирмы «Isover», «URSA» на основе стеклянного штапельного волокна. Для изготовления стекловолокна используют стеклобой или те же сырьевые материалы, что и для оконного стекла: кварцевый песок  $\text{SiO}_2$ , известняк или мел  $\text{CaCO}_3$ ; соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Тонкие стеклянные волокна для текстильных материалов получают непрерывным вытягиванием (продавливанием) из расплавленной стекломассы (*фильберный способ*).

Более *грубое* волокно, применяемое для тепловой изоляции, изготавливается дутьевым или центробежным способом. Такое волокно и называется *стеклянной ватой*.

Плавление (варка) сырьевой смеси осуществляется в печи при температуре 1300...1400 °С. Расплавленное стекло подается в центробежный волоконнообразователь, где стекло распускается на волокна средней толщиной 6 мкм и средней длиной 150...200 мм (у каменной ваты 30...40 мм). Их связывание производится с помощью полимерной смолы, добавляемой в виде аэрозоли к волокнам в процессе их образования. Затем полуфабрикат подается между двумя конвейерными ремнями в вулканизатор, нагретый до температуры 250 °С. Таким образом стекловате придается необходимая жесткость.

По характеристикам стекловата несколько отличается от минеральной. Отличия обусловлены, в частности, тем, что волокна стеклянной ваты имеют большую толщину (16...20 мкм) и в 2...3 раза большую длину. Благодаря этому изделия из стеклянной ваты обладают *повышенной упругостью и прочностью*. Стеклянная вата практически не содержит неволоконистых включений.

Теплопроводность  $\lambda$  находится в пределах 0,030...0,052 Вт/(м · °С). Температуростойкость стеклянной ваты обычного состава 450 °С, что существенно ниже, чем у минеральной ваты. У супертонкого стекловолокна  $\rho_0 < 25 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,03 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$ .

Плотность  $\rho_0$  стеклянной ваты обычно не превышает  $125 \text{ кг/м}^3$ , а теплопроводность 0,052 Вт/(м · °С). Стеклянная вата *практически не дает усадки в конструкциях, при длительных сотрясениях и вибрации ее волокно не разрушается*.

Теплоизоляционные изделия из стекловолокна – хорошие звукоизоляторы, так как имеют волокнистую структуру и хорошо поглощают звук, обладают высокой химической стойкостью, не содержат коррозионных агентов. Благодаря противогнилостной обработке и отсутствию запаха предотвращают появление вредителей и плесени в строительных конструкциях.

Этот негорючий материал под воздействием огня не выделяет **токсичных и вредных веществ**. Стекловатные изделия широко применяют для тепловой изоляции строительных конструкций. Стекловолокно – настолько мягкий и эластичный материал, что изделиями из него можно облицовывать неровные поверхности, а также применять в конструкциях любой формы или конфигурации. При этом теплоизоляционные изделия из стекловаты отличаются стабильностью формы, выдерживают старение, не подвергаясь деформации.

Области применения практически такие же, как и для изделий из минеральной ваты.

Номенклатура теплоизоляционных изделий с использованием стеклянной ваты включает в себя маты (мягкие плиты), прошивные маты, полужесткие плиты на синтетической связке, плиты с высокой жесткостью, позволяющие выдерживать значительные нагрузки. Жесткие плиты, облицованные стекловолокном, являются хорошей ветрозащитой. По длинным сторонам плит возможно соединение в шпунт и гребень, что обеспечивает надежное крепление и отсутствие зазоров.

Эффективным утеплителем, производимым компанией «Флайдерер-Чудово» (Россия), является вата «URSA» на основе стеклянного штапельного волокна.

У стекловаты есть ряд преимуществ перед другими теплоизоляционными материалами. Главным ее достоинством является меньшая стоимость по сравнению даже с ватой из базальтового волокна (каменной), не говоря уже о синтетических ячеистых утеплителях. Объясняется это тем, что минимальная плотность изделий из стеклянной ваты  $11 \text{ кг/м}^3$ , тогда как минимальная плотность изделий из каменной ваты  $30 \text{ кг/м}^3$  при одинаковых теплотехнических характеристиках. Стеклянная вата обладает *повышенной упругостью* и потому со временем не дает усадки. Например, рулонная стекловата «Isover KT» может при упаковке сжиматься до 75 % от своего эксплуатационного объема.

Мягкие стекловолоконистые материалы, как правило, прессуются в рулоны. Благодаря высокой упругости они выпрямляются и восстанавливают первоначальный объем практически сразу после вскрытия упаковки.

К минусам можно отнести лишь то, что стекловата, состоящая из тонких стеклянных волокон и воздуха, «боится» воды. Поэтому самым серьезным требованием при использовании этого материала становится обеспечение гидроизоляции. Именно поэтому еще в процессе производства некоторые партии стекловаты проходят специальную гидрофобизирующую обработку – пропитываются составом, который отталкивает воду. Тем не менее это не исключает защиту стекловаты гидро- и пароизолирующими пленками.

Для обеспечения хорошей защиты от ветра, особенно для наружных каркасных стен, маты и плиты URSA выпускают с покрыти-

ем из специальной бумаги, а для предотвращения конденсации в теплоизоляционном материале водяных паров, проникающих из жилых помещений, с покрытием из алюминиевой фольги с внутренней стороны, которая и обеспечивает надлежащую пароизоляцию. Кроме того, фольга сама отражает внутрь помещения около 80 % тепла. Это хорошо видно на примере бань, которые утеплены фольгированными плитами, а затем обшиты «вагонкой»: температура в парной буквально за 20...30 минут поднимается до необходимой величины.

Стекланная вата в Республике Беларусь не производится. Спрос на нее удовлетворяют представительства SAINT-GOBAIN ISOVER OY (Франция) и PFLEIDERER (Чудово, Россия).

Слой стекланной ваты толщиной 5 см соответствует термическому сопротивлению кирпичной стены толщиной в 1 м.

### *2.5.3. Ячеистое стекло*

К эффективным неорганическим теплоизоляционным материалам относится строительное пеностекло (или газостекло – ячеистое стекло), получаемое термической обработкой порошкообразного стекла (стеклобой), смешанного с порошком газообразователя (мел  $\text{CaCO}_3$ , известняк, кокс). В момент перехода стекла в пластично-вязкое состояние газообразователь выделяет газ  $\text{CO}_2$ , который вспучивает стекломассу при 750...850 °С.

Ячеистое стекло применяется для изоляции металлоконструкций, при бесканальной прокладке трубопроводов, благодаря паронепроницаемости и минимальному водопоглощению, – для теплоизоляции стен, потолков, промышленных холодильников, а также как отделочный и акустический материал.

Ячеистое стекло имеет двойную пористость: стенки крупных пор содержат микропоры. При этом все микропоры замкнутые. Такое строение газостекла объясняет его низкую теплопроводность  $\lambda$  при достаточно большой прочности и практически нулевое водопоглощение и паронепроницаемость.

Высокая пористость ( $\Pi = 80...94 \%$ ) позволяет обеспечить низкую среднюю плотность ( $\rho_0 = 150...350 \text{ кг/м}^3$ ), марки газостекла D200-400.

Виды изделий из ячеистого стекла,  
производимые объединением «Гомельстекло»

Газостекло в блоках (толщ. 60 мм)	ТУ 21 БССР 290-87
Газостекло в блоках (толщ. 80 мм)	
Газостекло в блоках (толщ. 100 мм)	
Газостекло в блоках (толщ. 120 мм)	
Крошка ячеистого стекла	

Средняя плотность (плотность материала  $\rho_0$ ) газостекла зависит от вида газообразователя и степени его дисперсности, температуры и продолжительности вспенивания, состава стекла. Благоприятная структура с преимущественно *закрытыми порами* (размер ячеек 0,25...0,50 мм) обеспечивает относительно высокую прочность  $R_{сж} = 0,7...4,2$  МПа и водостойкость, малое водопоглощение ( $W_0 < 10\%$ ). Температуростойкость газостекла обычного состава 300...400 °С, а бесщелочного – 800...1000 °С. Газостекло легко обрабатывается режущим инструментом (можно шлифовать, сверлить) и воспринимает различную окраску.

Для строительного газостекла коэффициент теплопроводности  $\lambda$  при плотности  $\rho_0 = 150...400$  кг/м<sup>3</sup> в сухом состоянии при стандартной температуре испытаний (+25 °С) составляет 0,06...0,11 Вт/(м · К).

С повышением влажности теплопроводность ячеистого стекла, как и любого изоляционного материала, повышается в зависимости от характера локализации в ней влаги.

Но ячеистого стекла выпускают мало и малогабаритными и плитами. Выпуск крупных плит был бы более рациональным.

Расчетная влажность такого стекла составляет 1 % по массе.

#### *2.5.4. Пористые горные породы*

К таким породам относятся пемза, вулканические туфы и пеплы, туфолавы. Их можно непосредственно использовать как ТИМ в зданиях.

#### *2.5.5. Вспученные горные породы*

В строительстве в качестве теплоизоляционных применяют **изделия из вспученных при обжиге горных пород** – перлита, шунгизита (вспученные шунгитовые сланцы), вермикулита. *Вермикулит* – минерал

из группы гидрослюд. Теплопроводность при 25 °С – от 0,05 до 0,2 Вт/(м · °С). Средняя плотность  $\rho_0 = 150 \dots 500$  кг/м<sup>3</sup>. Рациональная область применения изделий обусловлена свойствами легких заполнителей и связующих.

На основе вспученного вермикулита и вспученного перлита в смеси с вяжущим веществом получают растворные и бетонные смеси, из которых формируют теплоизоляционные изделия (плиты, скорлупы, сегменты, кирпич) или выполняют теплоизоляционные штукатурки.

*Безобжиговые* перлитовые и вермикулитовые ТИМ изготавливаются на портландцементе, жидком стекле, синтетических смолах, битуме, различных клеях.

*Вспученный перлит*, нашедший широкое применение как в Беларуси, так и за рубежом, продолжает оставаться перспективным материалом.

Разработано и внедрено в производство большое количество перлитовых теплоизоляционных материалов и изделий. Среди них перлитцементные плиты и скорлупы, перлитобитумные плиты, перлитофосфогелевые, перлитопластбетонные и перлитоасбестокаолиновые плиты и др.

В частности, битумоперлит применяют для устройства теплоизоляции трубопроводов бесканальной прокладки и для бесчердачных покрытий. Перлитоплимерные изделия, обладающие повышенной прочностью, используют в качестве утеплителей в самонесущих и навесных легких панелях.

К началу 90-х годов XX века «Теплопроект» в СССР были разработаны и прошли все необходимые испытания теплоизоляционные материалы на основе перлита, такие как *лигноперлит*, *эпсоперлит*, *термоперлит* и *перлитодиатомит*.

*Термоперлит*, не имеющий в своем составе органических соединений, может быть применен как для изоляции горячих поверхностей (до 600 °С), так и в качестве огнезащитной и огнестойкой строительной изоляции. В качестве связующего используются гидроксид натрия NaOH и его соли.

В 1999 г. на Апрелевском опытном заводе (РФ) была введена в эксплуатацию линия по *производству перлитодиатомитового кирпича*, получившего торговое название термосилипор. Введение в композицию вспученного перлита позволило в несколько раз сократить время тепловой обработки, а следовательно, и затраты тепла на

его производство. Выпускается продукция различных размеров: от стандартных кирпичей до плит. Кирпич может быть использован при строительстве печей, других тепловых агрегатов, в коттеджном малоэтажном строительстве как несущий конструкционный материал, а в многоэтажном строительстве – как утеплитель.

Ряд заводов России продолжает выпускать *вспученный вермикулит* и изделия на его основе. Часто, когда вспученный вермикулит используют в тех же композициях, что и вспученный перлит, первый не выдерживает конкуренции в силу дороговизны сырья. Вместе с тем в ряде направлений использования вермикулиту нет равных.

Изделия из вермикулита устойчивы к химическим воздействиям, термостойки. Они применяются для облегченных стеновых панелей и плит покрытий производственных сельскохозяйственных зданий, а также для теплоизоляции трубопроводов. В вермикулитовых изделиях удачно сочетаются теплоизоляционные, акустические и декоративные свойства.

При применении перлита и вермикулита в качестве легких заполнителей получают теплоизоляционные *цементные* перлито- и вермикулитобетоны. На их основе можно изготавливать панели самонесущих наружных стен.

Перлит и вермикулит в сочетании с *глиняной связкой* или *жидким стеклом* позволяют получать *обжиговые* теплоизоляционные изделия средней плотностью  $\rho_0 = 250 \dots 400 \text{ кг/м}^3$ . Такие изделия служат для тепловой изоляции печей и оборудования при температуре до  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **2.5.6. Изделия из асбеста и асбестосодержащие теплоизоляционные материалы и изделия**

Используются в качестве монтажных (ГТ) и разделяются:

а) на асбестовые, состоящие из асбестового волокна (асбестовая бумага, картон, войлок и изделия из них);

б) на асбестосодержащие, изготавливаемые из смеси асбестовых волокон с неорганическими вяжущими веществами (магнезиальные вяжущие, известь, цемент) или с трепелом (диатомитом).

*Асбестовую бумагу* изготавливают в виде листов и рулонов из асбестового волокна 5-6-го сорта с небольшим количеством (до 5 %) склеивающих веществ (крахмал, казеин). Толщина бумаги  $0,3 \dots 1,5 \text{ мм}$ ,  $\rho_0 = 450 \dots 950 \text{ кг/м}^3$ , а при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$   $\lambda = 0,14 \dots 0,198 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .



Гладкую асбестовую бумагу применяют в качестве теплоизоляционной прокладки при изоляции трубопроводов, а гофрированную – для производства одной из разновидностей асбестового картона.

*Асбестовый картон* изготавливают из асбеста 4–5 сортов с наполнителем (каолин) и склеивающим веществом (крахмал) в виде листов толщиной 2...10 мм,  $\rho_0 = 900...1000 \text{ кг/м}^3$ , при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$   $\lambda = 0,182 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Асбестовый картон применяется для изоляции трубопроводов, покрытий деревянных конструкций и дверей для повышения их огнестойкости.

Требованиям, предъявляемым к ТИМ, удовлетворяют материалы, полученные из смесей асбеста с высокопористыми веществами: трепелом, диатомитом, легкими магниевыми солями, известью и др. Благодаря высокой температуростойкости асбеста такие материалы могут эксплуатироваться при температуре до  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Из асбестодиатомитовых материалов известен *асбозури́т*, получаемый в виде порошкообразной смеси двух классов, А и Б, средней плотностью соответственно до  $550$  и  $800 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводностью при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  равной  $0,093$  и  $0,21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Порошок асбозурита затворяют водой и наносят в виде мастики на изолируемые поверхности.

Представителем *асбестоизвестковокремнеземистых* материалов является *вулканит*, получаемый в виде плит, сегментов, скорлуп и других изделий средней плотностью  $200...400 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводностью при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  равной  $0,07...0,09 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и пределом прочности при изгибе  $0,3...0,35 \text{ МПа}$ . Твердеют вулканитовые изделия в автоклавах при давлении  $0,8 \text{ МПа}$ .

К асбестомагнезиальным материалам относится *совелит*, получаемый из оксидов кальция и магния ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) – продуктов обжига доломита при  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , подвергаемых гашению и обработке углекислым газом (карбонизации) с последующей добавкой в смесь асбеста, формованием и тепловой обработкой.

Совелит изготавливают с теплопроводностью  $\lambda = 0,082...0,086 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и пределом прочности при изгибе  $R_{\text{изг}} = 0,17...0,20 \text{ МПа}$ .

Присутствие частиц асбеста в пище, питьевой воде, напитках, при вдыхании окружающего воздуха является канцерогенным фактором.

Выдыхание асбестовой пыли может вызвать следующие заболевания:

рак желудка; рак гортани; рак бронхов; асбестоз легких; утолщение плевры; рак толстой кишки; мезотелиому – злокачественную опухоль.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), каждый седьмой житель развитых стран страдает от асбестовой пыли. К такому выводу пришли бельгийские медики на основании патологоанатомического исследования легких ста шестидесяти человек.

Выделение асбестовых волокон из изделия происходит во время пиления, резки, эксплуатации, замены, удаления.

Волокна асбеста с пылью попадают в легкие. Со временем развивается воспаление, которое в ряде случаев трансформируется в рак легкого или злокачественную опухоль плевры. Опухоли возникают через многие годы после попадания асбеста в легкие, потому эксперты прогнозируют постоянное повышение онкологических заболеваний по крайней мере до 2020 года.

В целях защиты асбестовые плиты покрывают 2–3 слоями масляной краски или полимером.

В настоящее время ПО «Кричевцементошифер» и ОАО «Красносельскстройматериалы» начали выпускать пропитанные полимерами и окрашенные асбестоцементные листы, но выпускаются они пока в очень малом количестве и говорить о них как о дешевом кровельном материале не приходится.

### *2.5.7. Керамзит как тепло- и звукоизоляционный материал*

Сыпучие теплоизоляционные материалы используются как в качестве заполнителей для легких бетонов, так и теплоизоляционных засыпок. Самым популярным из этих материалов, производимых в Республике Беларусь, является керамзит (насыпная плотность  $\rho_0 = 280 \dots 500 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,11 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ), сырьем для изготовления которого служат легко вспучивающиеся при обжиге глины и глинистые сланцы.

Тысячелетиями люди пользовались плотной обожженной глиной, а *керамзит* – вспученный при быстром обжиге темно-коричневых глиен материал ячеистого строения, обладающий малой плотностью  $\rho_0$  при значительной прочности и высокими теплоизоляционными свойствами и представляющий собой гранулы из обожженной глины (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Гранулы керамзитового гравия

Благодаря своим экологическим свойствам, он широко применяется в европейских странах. Так, потребление в год на рынке Германии – 2,5 млн. м<sup>3</sup>, Швеции – 1 млн. м<sup>3</sup>, Австрии – 800 тыс. м<sup>3</sup>, Финляндии – 600 тыс. м<sup>3</sup>, а в Беларуси – только 200 тыс. м<sup>3</sup>.

В Германии, согласно DIN 4226, керамзит при  $\rho_0 = 300 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  и стена из керамзитобетона при  $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta = 40 \text{ см}$  и  $\lambda = 0,13 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  имеют уровень теплозащиты  $R_T = 3,07 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

Керамзит применяется для утепления фундаментов, устройства полов, перегородок и скатных кровель с высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, малоэтажных перекрытий в виде теплоизоляционных засыпок и может быть использован для теплоизоляции труб в бетонных лотках и в грунте.

Керамзит керамзиту рознь из-за разного коэффициента вспучивания глин. Керамзит Петриковского завода (Беларусь) используется для изготовления конструкционного прочного бетона (например, в Европе делают плиты перекрытия, большепролетные конструкции мостов, уникальные плавающие керамзитобетонные платформы и т.п.), а керамзит ОАО «Новолукомльский завод керамзитового гравия» для теплоизоляционных засыпок  $\rho_0 = 250 \dots 350 \text{ м}^3$  и для изготовления стеновых керамзитобетонных блоков «Теплокомфорт»  $\lambda = 0,139 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  $\rho_0 = 400 \dots 500 \text{ кг/м}^3$ ; 50 % его продукции идет в Россию.

Проектная производительность Новолукомльского завода составляет 700 000 м<sup>3</sup> керамзита в год. Освоен выпуск керамзита по европейским стандартам. Продукция завода сертифицирована Берлинским институтом экспертизы стройматериалов по ISO 9001-2000, имеет СЕ-маркировку, дающую право на ввоз и применение в строительстве в странах Европейского союза. Керамзит экспортируется в Финляндию, Австрию, Германию, Нидерланды, Польшу, Латвию, Литву, Эстонию и Россию.

**Пенокерамзитобетонные стеновые блоки.** Этот новый энерго-сберегающий строительный материал обладает примерно такими же характеристиками, как и производимый в Беларуси по германской технологии ячеистый бетон, но в 1,5 раза дешевле.

Сырье и технические характеристики пенокерамзитобетона: цемент, песок, керамзит из Новолукомля + пена (русская).

$$\rho_0 = 400 \dots 500 \text{ кг/м}^3, \quad \lambda = 0,09 \dots 0,15 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

$$F_{25}, R_{сж} = 0,5 \dots 2,5 \text{ МПа (классы В1, 1,5; 2, 2,5; 3,5)}.$$

### *2.5.8. Ячеистый бетон как средство защиты от холода*

**Ячеистые бетоны** являются разновидностью легкого бетона, их получают в результате затвердевания вспученной при помощи порообразователя (газо- или пенообразующих добавок) смеси вяжущего, кремнеземистого компонента и воды. Нет крупного заполнителя. При вспучивании исходной смеси образуется характерная высокопористая ячеистая структура бетона с равномерно распределенными по объему замкнутыми воздушными порами (до 85 % от общего объема бетона). Благодаря этому ячеистый бетон имеет небольшую плотность и малую теплопроводность.

По виду порообразования различают газобетоны (или газосиликаты) и пенобетоны (или пеносиликаты). В первых вспучивание бетонной смеси осуществляют выделением газа при введении газообразователя, во вторых – созданием пены из пенообразователя. Образовавшиеся поры представляют собой замкнутые ячейки диаметром 1...3 мм, разделенные тонкими стенками из затвердевшей бетонной смеси.

Пористость ячеистого бетона сравнительно легко регулировать в процессе изготовления, в результате получают бетоны разной плотности и назначения. Ячеистые бетоны делят на три группы:

1) теплоизоляционные плотностью  $\rho_0$  в высушенном состоянии не более  $500 \text{ кг/м}^3$ ;

2) конструктивно-теплоизоляционные (для ограждающих конструкций) плотностью  $500 \dots 900 \text{ кг/м}^3$ ;

3) конструктивные (для железобетона) плотностью  $900 \dots 1200 \text{ кг/м}^3$ .

Пенобетон (или пеносиликат) готовят, смешивая отдельно приготовленные растворную смесь и пену, образующую воздушные ячейки. Растворную смесь получают из вяжущего (цемента или воздушной извести) кремнеземистого компонента и воды.

Пену приготавливают в лопастных пеновзбивателях или центробежных насосах из водного раствора пенообразователей, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ). Применяют клеekaanифольный, смолосалониновый, алюмосульфонафтенный и синтетические пенообразователи. Стабилизаторами пены служат добавки раствора животного клея, жидкого стекла или сернокислого железа; минерализаторами же являются цемент или известь.

Газосиликат изготавливают на основе известково-кремнеземистого вяжущего и алюминиевой пудры или пасты. Это экологически чистый материал, который хорошо сохраняет тепло, устойчив к воде и низким температурам. Изделия из него обладают высокой прочностью при сжатии (0,5...2,5 МПа) и обеспечивают уровень теплозащиты не менее  $R_T = 2...2,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ .

Газосиликат при наличии сравнительно хороших прочностных показателей и огнестойкости имеет среднюю плотность  $\rho_0 = 250...400 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводность  $0,07...0,105 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$ . В настоящее время в Беларуси ставится задача по получению в заводских условиях изделий с  $\rho_0 = 180...200 \text{ кг/м}^3$ , прочностью при сжатии не менее 0,4 МПа и  $\lambda = 0,06...0,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$ .

Свойства ячеистого бетона (газосиликата), прочность  $R$  и плотность  $\rho_0$ , являются главными показателями качества ячеистого бетона. Плотность, колеблющаяся от 300 до  $1200 \text{ кг/м}^3$ , косвенно характеризует пористость ячеистого бетона (соответственно 85...60 %).

Водопоглощение и морозостойкость зависят от величины и характера пористости ячеистого бетона и плотности перегородок между макропорами (ячейками). Для снижения водопоглощения и повышения морозостойкости стремятся к созданию ячеистой структуры с замкнутыми порами. Этому способствует вибрационная технология, так как при вибрации газобетонной смеси разрушаются крупные ячейки, снижающие морозостойкость и однородность материала.

Ячеистый бетон широко применяется в строительстве. Это традиционный ТИМ. Расход энергии на получение  $1 \text{ м}^3$  изделий из ячеистого бетона более чем в три раза ниже по сравнению с производством глиняного кирпича. В Беларуси технология фирмы «Hebel» используется ОАО «Забудова» (Минская область). Получаемый в п. Чисть ячеистый бетон (газосиликат) содержит очень незначительные концентрации радиоактивных изотопов, материал прост в работе. Такие стеновые блоки средней плотностью

$\rho_0 = 400 \dots 600 \text{ кг/м}^3$ , прочностью при сжатии 2,5...5,0 МПа имеют коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,12 \dots 0,18 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , что позволяет в настоящее время применять их в стенах без дополнительного слоя из эффективного утеплителя.

В Республике Беларусь АП «Минский КСИ» производит блоки стеновые мелкие (средней плотностью  $\rho = 500 \dots 600 \text{ кг/м}^3$  и коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,14 \dots 0,18 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ); плиты теплоизоляционные из ячеистого бетона для утепления покрытий и чердачных перекрытий, а также стен (средняя плотность  $400 \text{ кг/м}^3$  и коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ). АО «Гродненский комбинат строительных материалов» осуществляет производство газосиликатного плитного утеплителя, предназначенного для утепления строительных конструкций и изоляции промышленного оборудования (средняя плотность  $400 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность в сухом состоянии  $\lambda = 0,079 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ) и утеплителя газосиликатного дробленого (коэффициент теплопроводности в сухом состоянии  $\lambda = 0,092 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ).

В настоящее время АО «Гродненский КСМ» и Смолевичский завод силикатных изделий выпускают также утеплитель из ячеистого бетона средней плотностью до  $300 \text{ кг/м}^3$  и пределом прочности при сжатии не менее 0,6 МПа.

ОАО «Сморгоньсиликатбетон» выпускает блоки из ячеистого бетона стеновые, газосиликатные (СТБ 1117-98), категории 2 (на клей) ГОСТ 2520-89 плотностью D-400, D-500, D-600. Эти блоки изготавливаются на новой немецкой линии «MASA-HENKE» с точностью резки 1-1,5 мм, классом прочности на сжатие от 1,5 до 3,0, плотностью бетона от 400 до  $600 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводностью  $\lambda$  от 0,11 до 0,14 Вт/(м · К), морозостойкостью 35 циклов и влажностью бетона до 25 %. Укладываются данные блоки на растворную сухую смесь РСС-Н118-3а (категории 2 на клей). Толщина шва 1-2 мм при расходе 28 кг на  $1 \text{ м}^3$ . После укладки новых блоков на клей штукатурка не обязательна.

В экспериментальных формах на ЗАО «Могилевский КСИ» выпускались опытные партии ячеистобетонной теплоизоляции плотностью  $200 \dots 300 \text{ кг/м}^3$ .

В Беларуси на 10 государственных заводах производится на душу населения столько же ячеистого бетона, сколько в Германии, т.е. более 2 млн.  $\text{м}^3$ .

Стена в 350 мм из ячеистого бетона эквивалентна 600 мм керамического кирпича.

Не все ячеистые бетоны одинаковы. Многое зависит от того, где они производятся. Много бетонов идет на рынок РФ. Перед госпредприятиями силикатной промышленности все острее встает проблема изношенности оборудования.

Конкуренцию госпредприятиям с 1997 г. составляет ОАО «Забудова» благодаря применению оборудования и технологии фирмы «Хебель» (Германия). Изделия отличаются высоким уровнем качества. Это точность геометрических параметров изделий ( $\pm 1$  мм), что позволяет укладывать блоки стеновые и теплоизоляционные на специальный клеевой раствор с толщиной шва 2...2,5 мм.

В результате в готовой стене не будет мостиков холода и значительно повышается теплоизоляция помещений.

Единственный крупный недостаток продукции ОАО «Забудова» – ее цена, которая выше, чем у предприятий государственной собственности. Нет белорусского препарата для вспучивания.

Силикатобетонные изделия из ячеистого бетона (газосиликат) идеально подходят для «модного» и перспективного сейчас в мире метода каркасного строительства.

Газосиликатные блоки имеют размеры

$l$	$h$	$b$
599	х 249	х 100, 150
или 625		200, 250
		300, 375
		400, 500 ,

$\rho_0 = 250...400$  кг/м<sup>3</sup> и теплопроводность  $\lambda = 0,09$  Вт/(м · К). Большой эффект по теплозащите при  $\rho_0 = 150...200$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,06...0,07$  Вт/(м · К).

Ячеистый бетон (газосиликат) не является огнестойким материалом. При  $t > 140$  °С начинается процесс дегидратации гидросиликатов кальция ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), что сопровождается снижением прочностных показателей. По экологическим качествам газосиликатные блоки уступают пеностеклу (ячеистому стеклу).

Технология получения *пенобетона* и *пеногипсобетона* значительно проще по сравнению с производством ячеистых блоков автоклавного твердения (газобетона и газосиликата). При использовании данной технологии не нужны автоклавы!

Пенообразователи могут быть получены из местного сырья.

Применение ячеистых материалов из пенобетона и пеногипса в качестве стеновых ТИМ позволяет:

- снизить массу ограждающих конструкций;
- уменьшить энергозатраты при производстве изделий из этих материалов и при эксплуатации зданий и сооружений.

### 2.5.9. Жидкое стекло

В последние годы разработана группа эффективных теплоизоляционных материалов на основе вспученного *жидкого стекла* ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ), из которого с тонкомолотыми минеральными наполнителями ( $\text{CaCO}_3$ , мел, зола ТЭС) и специальными добавками получают гранулированные полуфабрикаты – *стеклопор* и *силипор*. Стеклопор имеет крупность зерен более 5 мм, силипор – менее 5 мм. Пористость стеклопора и силипора 98...99,6 %. Средняя плотность  $\rho_0 = 200 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $\lambda = 0,028...0,035 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . На основе стеклопора и силипора с применением различных связующих получают эффективные теплоизоляционные изделия.

## 2.6. Органические теплоизоляционные материалы и изделия

### Классификация





**Органические ТИМ** могут быть следующих видов:

1. Штучные ячеистые: плиты пенополистирольные и полистиролбетонные;

2. Штучные волокнистые:

плиты древесно-волокнистые (ДВП):

- мягкие,

- полутвердые;

плиты льнокостричные (костролит).

Большинство органических теплоизоляционных материалов изготавливают в виде плит, обычно крупноразмерных, что упрощает и ускоряет производство работ и способствует удешевлению строительства.

К *основным* теплоизоляционным материалам на основе органического сырья относятся:

◆ пористые пластмассы;

◆ фибролитовые и арболитовые, льнокостричные, прессованная солома, камышит, эковата (из макулатуры);

◆ торфяные теплоизоляционные изделия (торфоплиты);

◆ изоляционные древесно-стружечные (ДСП) и древесно-волокнистые плиты (ДВП).

Для их изготовления используют только *органическое сырье* – древесину, главным образом в виде отходов (опилки, стружка, щепа), и другое растительное сырье волокнистого строения – камыш (камышит), солому зерновых культур (соломит), малоразложившийся верховой торф (торфяные плиты), кукурузные кочерыжки, костра льна и конопли (костролит) и немного минерального вяжущего (цемент).

Большое количество теплоизоляционных изделий сегодня изготавливают на основе различных полимеров и синтетических смол.

### **2.6.1. Древесно-волокнистые изоляционные плиты**

ДВП производят из неделовой древесины, используя отходы лесопиления и деревообработки, а также бумажную макулатуру, солому, стебли тростника, льняную костру. Их перерабатывают в волокнистую массу с последующим формованием и тепловой обработкой. В зависимости от средней плотности и соответственно

водопоглощения и прочности выпускают мягкие ( $\rho_0 < 350 \text{ кг/м}^3$ ), полутвердые ( $\rho_0 = 400 \dots 800 \text{ кг/м}^3$ ), твердые ( $\rho_0 > 850 \text{ кг/м}^3$ ) и сверхтвердые ( $\rho_0 > 950 \text{ кг/м}^3$ ) ДВП. Для тепловой изоляции применяют мягкие плиты с влажностью не более 12 %, максимальным водопоглощением не более 30 % за 2 часа, пределом прочности при изгибе  $R_{\text{изг}} = 0,4 \dots 2,0 \text{ МПа}$  и теплопроводностью  $0,055 \dots 0,09 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

К недостаткам древесно-волоконистых плит относятся повышенное водопоглощение и гигроскопичность, легкая воспламеняемость и поражаемость грибами.

Достоинством ДВП являются их большие размеры (длина до 3 м, ширина – до 1,6 м), т.к. это способствует индустриализации строительно-монтажных работ и уменьшению затрат труда.

Изоляционные плиты используют для тепло- и звукоизоляции стен, потолков, полов, перегородок и междуэтажных перекрытий, утепления кровель, акустической отделки специальных помещений.

### ***2.6.2. Древесно-стружечные плиты***

ДСП изготавливают путем горячего прессования массы, содержащей около 90 % волокнистого органического сырья (чаще всего применяют специально приготовленную древесную шерсть) и 8...10 % синтетических смол (фенолоформальдегидной (ФФ) или мочевиноформальдегидной).

Для теплоизоляционных целей служат легкие плиты плотностью  $\rho_0 = 250 \dots 500 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводностью  $0,046 \dots 0,093 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ . Полутяжелые и тяжелые плиты плотностью соответственно  $500 \dots 800$  и  $800 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$  и прочностью при изгибе  $5 \dots 35 \text{ МПа}$  применяют как отделочный и конструкционный материал.

Для древесно-стружечных плит в отличие от древесно-волоконистых характерны сравнительно небольшие линейные изменения при переменной влажности  $W$  и значительно большая прочность (для плит с  $\rho_0 = 200 \dots 400 \text{ кг/м}^3$  предел прочности при изгибе  $3 \dots 8 \text{ МПа}$ ). Древесно-стружечные плиты разнообразны по конструкции (однослойные, сплошные и с внутренними каналами, трехслойные и многослойные), по средней плотности (легкие  $\rho_0 < 500 \text{ кг/м}^3$ , средние  $\rho_0 = 500 \dots 650 \text{ кг/м}^3$  и тяжелые  $\rho_0 = 660 \dots 800 \text{ кг/м}^3$ ), виду отделки (необлицованные и облицованные бумагой, шпоном и т.д.).

### 2.6.3. Торфяные теплоизоляционные изделия

Данные изделия выпускают в виде плит, а также скорлуп и сегментов. Сырьем для них служит слаборазложившийся молодой верховой торф-сфагнум, при переработке расщепляемый на отдельные волокна. Сформованные прессованием изделия поступают на сушку, при которой ( $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) из торфа выделяются смолистые вещества, склеивающие волокна. Средняя плотность торфяных плит  $\rho_0 = 170\text{...}200\text{ кг/м}^3$ , прочность при изгибе  $R_{\text{изг}}$  не менее 0,3 МПа. Теплопроводность  $\lambda = 0,058\text{...}0,064\text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C)}$ . Водопоглощение торфяных плит за 24 часа достигает 180...190 %. Они дешевые, обладают хорошей горючестью.

В увлажненном состоянии, особенно при хранении в штабелях, торфяные изделия могут самовоспламеняться. Предельная температура их применения 100  $^{\circ}\text{C}$ . Торфяные теплоизоляционные изделия (1,0 x 1,5 x 0,03 м) могут быть использованы для изоляции промышленных холодильников и различных ограждений. Для защиты их от увлажнения устраивают пароизоляцию.

### 2.6.4. Арболит

При достаточно низкой средней плотности ( $\rho_0 < 550\text{ кг/м}^3$ ) теплоизоляционным материалом может служить **арболит** (арбо – древесина). Он представляет собой разновидность легкого бетона, изготавливаемого из подобранной смеси портландцемента, воды и органического коротковолокнистого сырья, обработанного водным раствором химического минерализатора. Химическими добавками служат хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ), растворимое стекло ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n \cdot \text{SiO}_2$ ), сернокислый глинозем и полиметаллический водный концентрат (ПВК).

Органические заполнители могут быть различного происхождения и иметь различную форму частиц (дробленые отходы древесных пород, станочная стружка или щепа, сечка камыша, соломы, костра льна или конопли, подсолнечная лузга и т.п.). Технология изготовления изделий из арболита во многом приближается к технологии изделий из обычных бетонов. Прочность на сжатие  $R_{\text{сж}}$  арболитовых изделий, предназначенных для тепловой изоляции, – 0,5...1,5 МПа, водопоглощение – 60...85 %, при влажности  $W = 15\text{ \%}$  –

теплопроводность  $\lambda = 0,15 \dots 0,17$  Вт/(м · °С). Арболитовые изделия, учитывая их сравнительно высокую теплоизоляционную способность при пониженных значениях прочности и модуля упругости, рационально применять для невысоких и самонесущих наружных панелей и крупных блоков, чердачных и совмещенных покрытиях при соответствующей защите от увлажнения.

### 2.6.5. Фибролит

Близким по свойствам к арболиту является **фибролит** – плотный материал, изготавливаемый из специальных древесных стружек (древесной шерсти) и неорганического вяжущего вещества. Древесную шерсть (стружку длиной 200...500 мм, шириной 2...5 мм и толщиной 0,3...0,5 мм) получают на специальных станках, используя короткие бревна ели, липы, осины или сосны. Вяжущим чаще всего служит портландцемент (ПЦ), реже магнезиальное вяжущее (MgO). Древесную шерсть предварительно смачивают на вибросите раствором минерализатора – хлористого кальция  $\text{CaCl}_2$ , жидкого стекла  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n \cdot \text{SiO}_2$  при помощи дождевальной установки, а затем подают транспортером в смесительный барабан принудительного действия. Туда же через дозировочный шнек поступают цемент и вода. Перемешанную массу укладывают ленточным транспортером в непрерывно передвигающиеся по рольгангу формы. Формы с массой последовательно проходят камеру начеса, прессовочный вал, пост разделки на плиты. Скомплектованные в штабеля плиты (по 10...12 шт.) с прессы после формовки под давлением 0,5 МПа направляют в камеру твердения. Влажность цементно-фибролитовых плит должна быть не более 20 % по массе. Плиты обычно имеют длину 240 и 300 см, ширину 60 и 120 см, толщину 3...15 см.

Плиты применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий II и III классов, для устройства перегородок, каркасных стен и перекрытий в сухих условиях. Фибролит хорошо (легко) обрабатывается – его можно пилить, сверлить, в него можно вбивать гвозди.

Стена из фибролитовых плит толщиной 15 см по термическому сопротивлению эквивалентна кирпичной стене в два кирпича (51 см).

Фибролит выпускают в виде плит, прессуемых под давлением 0,1...0,4 МПа, трех марок по средней плотности: Ф300, Ф400, Ф500. При изменении плотности изделий от 300 до 500 кг/м<sup>3</sup> минимально

допустимый предел прочности при изгибе изменяется от 0,4 до 1,2 МПа. Водопоглощение фибролита 35...60 %. Теплопроводность 0,09...0,15 Вт/(м·°С). Фибролит отличается высокой звукопоглощаемостью, обусловленной сообщающимся характером пор, хорошим сцеплением со штукатурным слоем, не горит открытым пламенем, но может поражаться грибок. Им утепляли наружные стены блок-комнат в 60-х и 70-х годах XX столетия, сегодня утепляют стены, покрытия.

### **2.6.6. Соломит**

**Соломит** – плиты, получаемые на специальных станках из стеблей с прессованием и перевязкой проволокой. Таким плитам необходима защита от гниения, возгорания, повреждения грызунами.

### **2.6.7. Камышит и другие местные материалы**

Эти материалы представляют собой прессованные стебли, которые связаны проволокой и требуют защиты от грызунов, гниения. Для этого данные материалы пропитывают антисептиками.

### **2.6.8. Древесно-опилочные плиты**

Древесно-опилочные плиты изготавливаются из смеси опилок, полимера, гидрофобизатора и антисептика. Плиты могут быть одно- и многослойными, сплошными и ячеистыми. Для тепловой изоляции можно применять плиты средней плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>.

### **2.6.9. Войлок строительный**

Войлок строительный изготавливают из низших сортов (из отходов) шерсти животных с добавкой растительных волокон и крахмального клейстера. В Беларуси в Смилевичах и Бобруйске работают валяльно-войлочные фабрики. Работа на них вредная и трудоемкая. После валки войлок имеет вид пластин-полотнищ длиной и шириной до 200 см. Плотность войлока  $\rho_0 = 150...500$  кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность  $\lambda$  – около 0,06 Вт/(м·°С). Чтобы предотвратить появление моли, войлок необходимо пропитывать 3 %-м раствором фтористого натрия NaF и перед применением высушивать. Войлок

использовали для тепловой и звуковой изоляции стен и потолков под штукатурку, для утепления наружных углов в рубленых домах, оконных и дверных коробок, торцов железобетонных балок, опускающихся на наружную стену, водопровода (до 100 °С).

### *2.6.10. Термо-Ханф – теплоизоляция будущего.*

Фирма «Хок Фертрибс-ГМБХ» (Hock Vertriebs GmbH & Co. KG) из волокон культурной конопли производит теплоизоляционные плиты разной толщины. Процесс запатентован в 1995 г., и материал получил название «Thermo-Hanf» и состоит на 85 % из волокон конопли и на 15 % из полиэстера. Продукция фабрики отмечена сертификатом Института экологии, Кёльн.

Исследования показали, что конопляная теплоизоляция по многим показателям превосходит образцы из стекловолокна. Благодаря своим исключительным механическим и теплофизическим свойствам (плотность  $\rho_0 = 186 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $\lambda = 0,059 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ) конопля находит все более широкое применение в строительных конструкциях в качестве теплозвукоизолирующего материала.

Хорошая диффузионная паропроницаемость позволяет применять конопляную теплоизоляцию даже в деревянных конструкциях. При формировании плит из конопляного волокна обычно используют нежесткие вяжущие материалы, такие как известь или глина. Нежесткое вяжущее в сочетании с эластичным конопляным волокном дает гибкий и трещиностойкий материал, хорошо приспособившийся к деформациям сооружения и практически не реагирующий на изменение температуры.

Главное преимущество Термо-Ханфа в том, что при работе с ним не требуется ни специальной маски, ни костюма, предохраняющего тело от режущей стеклянной пыли. В 2000 году Термо-Ханф поставлялся на 250 оптовых складов стройматериалов. Бесспорно, что он пока дороже своих синтетических конкурентов:  $1 \text{ м}^2$  Термо-Ханфа толщиной 10 см обойдется в 12 евро, что очень немало. Но нетрудно предсказать, что цена будет неуклонно снижаться синхронно с повышением спроса.

Самый первый дом с конопляной изоляцией был построен в 1997 году в городе Штутензее-Шпек, где и расположена фабрика. Его крыша полностью утеплена плитами толщиной в 20 см, а для

изоляции стен применены пятисантиметровые прокладки. Через три года фирма «Хок Фертрибс-ГМБХ» получила подряд в строительстве жилого комплекса из 21 дома в городе Ганновер. Общая стоимость сделки превысила 2 миллиона марок.

### 2.6.11. Газонаполненные пластики

Наиболее эффективными органическими теплоизоляционными материалами являются газонаполненные ячеистые пластмассы (пластики), т.е. органические высокопористые материалы, получаемые из полимеров.

*Газонаполненные пластики* – пластмассы, вспененные при помощи порообразователей или другими способами (наполнитель таких материалов – газ), условно делятся на пенопласты и поропласты.

*Пенопласты* имеют преимущественно *закрытые*, не сообщающиеся между собой поры (изолированные ячейки).

В *поропластах* перегородки между отдельными ячейками нарушены и полости *сообщаются* между собой.

Для теплоизоляции лучше применять пенопласты, а поропласты целесообразно применять как звукопоглощающий материал.

*Сотопласты* – пластики с регулярно повторяющимися полостями (рис. 2.3).

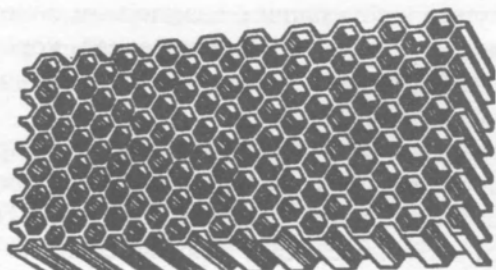


Рис. 2.3. Сотопласт

Особый вид газонаполненных пластиков – синтактные или микробаллонные пены. Отличаются малой плотностью, тепло-, звуко- и электроизоляционными свойствами. Применяются для заполнения многослойных конструкций, теплоизоляции холодильных установок,

электроизоляции кабелей, изготовления плавучих средств, в качестве фильтров для газов и жидкостей, амортизационного материала (например, в производстве мебели).

Пено- и поропласты получают при термическом разложении газообразователей или при взаимодействии компонентов (химический способ), а также в результате расширения растворенных газов при снижении давления или повышении температуры (физический способ).

Наибольшее распространение в современном строительстве получили пенопласты на основе следующих полимеров: полистирола, поливинилхлорида, полиуретанов, фенолформальдегидных смол и полиэтилена. В зависимости от вида полимеров и способа получения изменяются и основные свойства пористых пластмасс (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Технические характеристики пористых пластмасс

Вид ячеистой пластмассы	Плотность $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа		Пределная температура применения $t$	Теплопроводность, Вт/(м · °С), при $t = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$	Водопоглощение по объему, %, за 30 суток
		на сжатие $R_{сж}$	на изгиб $R_{изг}$			
Пенополистирол	30...200	0,15...3,0	0,4...0,7	60 °С	0,11...0,20	15
Пенополивинилхлорид	50...270	0,23...2,5	0,4...4,0	60 °С	0,15...0,19	10...3
Пенополиуретан	30...200	0,15...3,5	1,0...5,0	150 °С	0,12...0,21	18...5
Фенольный пенопласт (резольный)	80...150	0,25...0,7	0,3...0,6	130 °С	0,14...0,19	28...8
Мочевиноформальдегидный поропласт (мипора)	10...25	0,02...0,04	-	110 °С	0,11...0,15	78...85

*Фенольный пенопласт* — один из первых пенопластов. Он жесткий, теплостойкий, хорошо сцепляется в момент отвержения с другими материалами.

*Фенолформальдегидные пенопласты* используются при изготовлении трехслойных панелей с внешними слоями из гофрированного алюминия или стальных листов.



В строительстве с успехом применяются также пенополистирол и пенополиуретан.

В зависимости от прочности и модуля упругости газонаполненные пластмассы подразделяются на *жесткие, полужесткие и эластичные*.

В зависимости от отношения полимера к нагреванию пенопласты подразделяют на *термопластичные и термореактивные*. В основе первых лежат полимеры с линейной структурой (полистирол (ПС), поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП) и др.). В основе вторых – полимеры с пространственной структурой (фенолформальдегидные (ФФ), мочевиноформальдегидные, ненасыщенные полиэферы, эпоксидные (ЭП), полиуретановые (ПУ) и др.).

Специфические особенности газонаполненных пластмасс определяют техническую направленность и экономическую эффективность их применения в качестве строительной теплоизоляции. Благодаря низкой средней плотности, высоким тепло- и звукоизоляционным свойствам, повышенной удельной прочности, а также ряду ценных технологических и эксплуатационных свойств пенопласты не имеют аналогов среди традиционных строительных материалов.

Однако большинству газонаполненных пластмасс свойственны определенные **недостатки**, существенно ограничивающие возможность их применения: *пониженные огнестойкость, теплостойкость и температуростойкость*. Кроме того, не изучены еще процессы *деструкции* (старения) этих материалов и их *биостойкость* и *экологическая безопасность* в процессе длительной эксплуатации.

Одним из важнейших критериев качества пенопластов является *соотношение числа открытых и закрытых пор* в их структуре. Физико-механические характеристики улучшаются с увеличением содержания закрытых ячеек.

Преимущественно замкнутую ячеистую структуру имеют полистирольные, поливинилхлоридные и карбамидные пенопласты, а также жесткие пенополиуретаны. Это предопределяет распространенность перечисленных пенопластов в качестве теплоизоляционных материалов в строительных конструкциях.

Отношение предела прочности теплоизоляционных пластмасс к их средней плотности (плотности материала)  $\frac{R_{сж}}{\rho_0} = K_{кк}$  значительно

выше, чем для других теплоизоляционных материалов. Пенопласты имеют более низкое водопоглощение и большую звуконепроницаемость по сравнению с поропластами.

Поропласты и пенопласты очень легки и малотеплопроводны (см. табл. 2.1). В то же время они водостойки, не загнивают, жесткие пено- и поропласты достаточно прочны.

Особенностью теплоизоляционных пластмасс является ограниченная температуростойкость.

При соответствующем подборе состава могут быть получены самозатухающие ячеистые пластмассы. Некоторые ячеистые пластмассы трудновоспламеняемы или негорючи (фенольные пенопласты). Ячеистые пластмассы стойки к действию влаги и агрессивных сред, не поражаются грызунами и различными микроорганизмами.

Особенно перспективны пенопласты на основе фенолформальдегидных (ФФ) и ППУ смол. Эти изделия отличаются повышенной тепло- и огнестойкостью, относительно несложной технологией. Их можно изготавливать непосредственно при производстве трехслойных конструкций в виде заливочных материалов из жидких композиций, вспениваемых и отверждаемых без подогрева в течение нескольких минут.

Пенопласты выпускают и в виде плит и блоков с размерами сторон до 1000 мм с толщиной 50...70 мм. Плиточные пенопласты поддаются обработке и склеиваются как между собой, так и с другими материалами.

Из макулатуры также получают широкую номенклатуру тепло- и звукоизоляционных материалов. Структурную основу их составляют соты или гофры. Такие изделия получили название *сотопласты*. Сырьевая смесь включает бумажные волокна из макулатуры и хлопчатобумажной ткани. В качестве клея используют синтетические смолы. Сначала получают листовой материал, который пропитывается смолами и прессуется с образованием гофр или сот. Эти листы склеиваются в пакеты с образованием плит или блоков. Масса 1 м<sup>3</sup> сотопластов от 60 до 140 кг, а прочность при сжатии — от 1,5 до 10 МПа. Сотопласты используют более столетия, с каждым годом совершенствуя технологию и расширяя области их применения.

Сотопласты по сравнению с пено- и поропластами имеют геометрически более правильную структуру ячеек и отличаются выраженной анизотропией свойств. *Материалами для сот* служат

гофрированные листы бумаги, хлопчатобумажные ткани, крафт-бумага, стеклоткань, алюминиевая фольга. В качестве пропитывающих составов применяют в основном мочевино- и фенолформальдегидные композиции. Средняя плотность сотопластов  $\rho_0 = 60 \dots 140 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности при сжатии  $1,4 \dots 1,7 \text{ МПа}$ , теплопроводность  $\lambda = 0,17 \dots 0,35 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ . Теплофизические свойства сотопластов можно значительно улучшить, заполнив ячейки крошкой из мипоры, зернами вспученного перлита и др.

*Сотовый (канальный) поликарбонат* – твердый прозрачный пластик, высокой прочности, хорошо обрабатывается и изгибается в холодном состоянии.

Сегодня нужно производить и применять только высокоэффективные и экологически чистые ТИМ.

Промышленность строительных материалов Беларуси выпускает следующие эффективные ТИМ:

- минераловатные изделия на синтетических связующих (г. Гомель, «Березастройматериалы»);
- полистирольный пенопласт (г. Минск, КСИ; Слуцк и др.), около  $500000 \text{ м}^3$  в год;
- полистиролбетон (г. Минск, г. Витебск);
- газосиликатные теплоизоляционные плиты (г. Минск, Сморгонь, г. Орша);
- ячеистое стекло (пеностекло) (г. Гомель);
- цементный фибролит (г. Витебск).

При производстве минеральной ваты имеются выбросы токсичных примесей из синтетических смол. Эти примеси выделяются и из готовой продукции.

Наиболее эффективны для утепления:

- полистирольный пенопласт;
- полиуретановый пенопласт;
- ячеистое или газостекло;
- минеральная вата на финской фенолформальдегидной смоле нормированного состава;
- газосиликат;
- полистиролбетон.

### 2.6.12. Пенополиуретан (ППУ) жесткий

Пенополиуретан ППУ – самый эффективный в теплотехническом отношении из всех известных ТИМ. Самозатухающий пенопласт.

В настоящее время наиболее эффективными теплоизоляционными материалами являются газонаполненные полимеры (пенопласты), из которых наиболее широкое распространение нашли пенополиуретаны (ППУ), обладающие наилучшими теплоизоляционными и эксплуатационными характеристиками, которые благодаря хорошей технологичности для любой задачи в области теплоизоляции представляют выгодное в стоимостном отношении, экономичное и технически современное решение. Существующие способы получения и пенообразователи позволяют получать жесткий пенополиуретан с преобладающим содержанием закрытых пор (90...95 %) и низкой плотностью  $\rho_0$ . Эти важные эксплуатационные свойства открывают широкие возможности применения пенополиуретана для решения задач проектирования и строительства теплоизоляционных конструкций.

Пенополиуретан изготавливают:

- а) непрерывным способом;
- б) заливкой;
- в) напылением.

Его получают при  $t = 50...80\text{ }^{\circ}\text{C}$  в результате сложных реакций, протекающих при смешивании простого или сложного полиэфира и диизоцианата или полиизоцианата (вещество, содержащее уретан), воды в присутствии катализатора, т.е. вещества, регулирующего его вспенивание и отверждение, эмульгатора (поверхностно-активных веществ) и добавок (рис. 2.4).

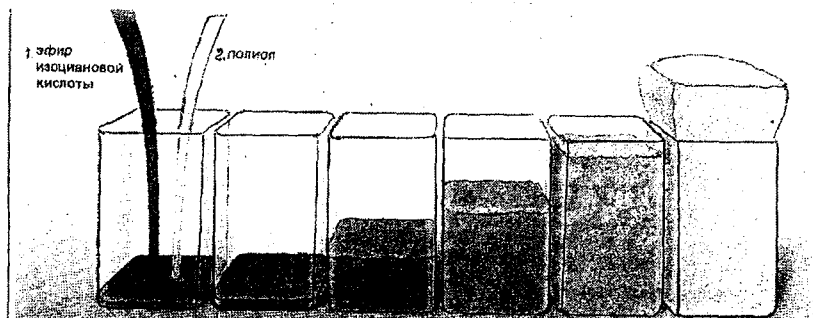


Рис. 2.4

Два основных способа изготовления жестких пенополиуретанов – заливка и напыление, позволяют получать следующий ассортимент изделий:

- предварительно изолированные в заводских условиях трубы (ПИ-трубы); основными производителями этих труб в республике являются СП «Белизолит» и ООО «Сармат»;
- теплоизоляционные полуцилиндры и другие фасонные изделия для элементов трубопроводов и запорной арматуры;
- трехслойные панели и другие конструкционные строительные изделия (рис. 2.5);

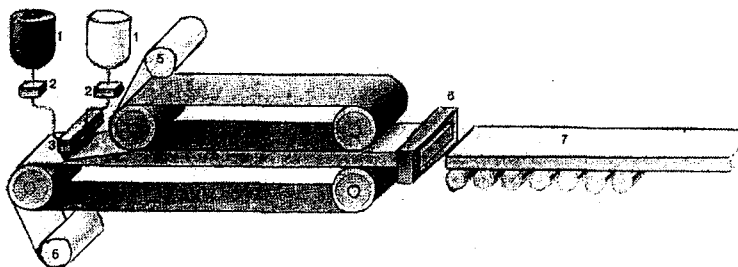


Рис. 2.5. Промышленное производство панелей из полиуретанового пенопласта способом непрерывной прокатки:  
1 – баки; 2 – дозирующие устройства; 3 – перемешивающая головка;  
4 – двойная конвейерная линия; 5 – облицовочные элементы;  
6 – устройство резки; 7 – готовая панель (в складском помещении)

- теплоизоляционные пенополиуретановые композиции могут наноситься *методом набрызга*, что позволяет получить бесшовную изоляцию. Впервые в Беларуси тепло- и гидроизоляционное покрытие методом набрызга нанесено на стены Дворца тенниса в Минске.

Пенополиуретановые композиции могут заливаться также в зазоры между конструктивными элементами или в пространство между изолируемой поверхностью и легкой металлической передвижной опалубкой.

ППУ-Э (эластичный) изготавливают путем взаимодействия сложного полиэфира с диизоцианитом в присутствии соответствующих добавок. Имеет открытую пористую структуру, сохраняет эластичные свойства при температуре от  $-15$  до  $+100$  °С, негигроскопичен. Для придания свойств самозатухания при изготовлении добавляют трихлорэтилфосфат. Стоек к воздействию бензина и

смазочных масел. Относительное удлинение в момент разрыва – не менее 150 %, а для самозатухающего – 120 %. Это поролон в виде полотнищ и лент. Его  $\rho_0 = 30 \dots 70 \text{ кг/м}^3$  и  $\lambda = 0,03 \dots 0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

ППУ-Э (жесткий) представляет собой жесткий газонаполненный пластик с мелкоячеистой структурой и преобладанием закрытых ячеек от светло-желтого до светло-коричневого цвета. Изготавливают его в заводских условиях путем заливки в формы или в конструкции смеси полиэфира П-3 и продукта ДУДЭГ в присутствии эмульгатора и катализатора в определенном соотношении в специальных установках:

- пеногенераторах;
- заливочных машинах;
- напылением.

Пена наносится на предварительно подготовленную чистую и сухую поверхность. ППУ система отверждается при  $t > +5 \text{ °C}$ .

Более низкая температура воздуха приведет:

- к более высокой хрупкости внешнего слоя;
- плохой адгезии к поверхности;
- к увеличению расхода компонентов.

Так как полиуретановая пена является превосходным изоляционным материалом, это позволяет эффективно снизить потери тепла во время транспортировки горячей воды или пара в предизолированных трубах централизованного теплоснабжения.

### **Чем объясняется хорошая теплоизоляция этого материала?**

Пенополиуретан содержит от 92 до 98 % закрытых пор, которые заполнены изоляционными газами. Только от 2 до 8 % объема пенополиуретанов содержит твердый полимер. Содержание твердого полимера определяется плотностью ППУ: чем выше плотность ППУ, тем выше процент твердого полимера. Закрытые поры заполнены газом, который образуется во время производства полиуретановой пены.

Структуру пор ППУ можно менять, используя различные вспенивающие агенты (вещества).

Вспенивающие вещества можно разделить на два вида: химические и физические.

*Химические* вспенивающие вещества – соединения, которые при химической реакции выделяют газы. В качестве химического вспенивателя

обычно используется вода. Вода вступает в реакцию с изоционатом и образует мочевины и двуокись углерода  $\text{CO}_2$ , из-за чего и происходит вспенивание реакционной смеси.

*Физические* пенообразующие агенты являются низкокипящими жидкостями, которые испаряются благодаря экзотермической реакции полимеризации. Молекулы выпущенного газа образуют реакционную смесь. В пенополиуретановой теплоизоляции труб используют физические вспенивающие агенты HCFC141b и циклопентан (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Теплопроводность газов, вспенивающих ППУ

Газ	Теплопроводность газа, Вт/(м · К)
Воздух	0,0248
Диоксид углерода $\text{CO}_2$	0,0153
Циклопентан	0,011
HCFC141b	0,0088

Физические вспенивающие агенты лучше изолируют, чем диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), и долгосрочные свойства изоляции для систем физического вспенивания лучше, чем для систем водного вспенивания.

*Изменение теплопроводности полиуретановой пены в процессе старения*

Свежая пена характеризуется определенной величиной начальной теплопроводности.

Но со временем диоксид углерода  $\text{CO}_2$  будет диффундировать из пены и перемещаться в воздух. Так как воздух характеризуется большей теплопроводностью, чем  $\text{CO}_2$ , то происходит увеличение теплопроводности пены.

Полиэтиленовая оболочка (ПЭ) толщиной в предварительно изолированных трубах 3 мм является эффективным диффузионным барьером для воздуха и  $\text{CO}_2$ . Оболочка из ПЭ определяет изоляционные качества ПИ-труб.

Физические вспенивающие агенты перемещаются в пене очень медленно по сравнению с воздухом и  $\text{CO}_2$ . Пена для них является диффузионной преградой. Величина теплопроводности при применении оболочки в 3 мм снижается в 1,7 раза.

В полиуретановых предизолированных трубах, находящихся в земле, скорость процессов диффузии снижается, так как почва также служит изоляционным слоем.

Таким образом, полиуретановая пена является хорошим изоляционным слоем в трубах централизованного теплоснабжения.

**Свойства жесткого ППУ** (по данным НИИ прикладных физических проблем им. А.М. Севченко НАН Беларуси). Жесткий пенополиуретан наряду с высокой экономичностью и простотой переработки характеризуется следующими свойствами:

- широким температурным диапазоном эксплуатации:  $t = +165 \dots -200$  °С, выдерживает кратковременный нагрев до +250 °С;
- высокими показателями физико-механических свойств:  $R_{сж} = 0,3 \dots 0,8$  МПа;
- высокой стойкостью к старению (формостабильностью);
- химической и биологической стойкостью;
- возможностью заполнения узких пространств, т.е. технологичностью.

Гарантированный срок эксплуатации пенополиуретанов при 140...150 °С составляет 30 лет, т.е. ППУ не теряет своих свойств в течение длительного времени.

**Теплоизоляционные свойства.** Жесткий пенополиуретан обладает наиболее низким коэффициентом теплопроводности из всех известных в настоящее время теплоизоляционных материалов:  $\lambda = 0,024 \dots 0,029$  до  $0,035$  Вт/(м · К).

Это связано с тем, что пенополиуретановый материал на 90...95 % состоит из закрытых пор, заполненных вспенивающим агентом (изоляционным газом), теплопроводность которого мала. Для решения задачи тепловой изоляции в основном используются пенополиуретаны плотностью  $\rho_0 = 30 \dots 100$  кг/м<sup>3</sup>.

В связи с этим уже при малых толщинах теплоизоляционного слоя теплоизолирующая способность пенополиуретана очень велика. Значение коэффициента теплопроводности  $\lambda$  может составлять



0,017...0,035 Вт/(м<sup>2</sup> · К) в указанном диапазоне температур –200 ... +165 °С. Благодаря своей низкой теплопроводности жесткий пенополиуретан можно использовать для решения широкого спектра профессиональных задач теплоизоляции конструкций, для которых по техническим и экономическим причинам требуется оптимальная и высокая экономия тепловой энергии.

Теплоизоляционные свойства вспененных полимеров во многом зависят от водопоглощения и диффузии воздуха в ячейки полимера. Для пенополиуретана средняя величина водопоглощения *W* составляет 3...3,5 % от объема, т.е. он практически не впитывает влагу.

Существующие в настоящее время физические способы получения жестких пенополиуретанов позволяют регулировать плотность  $\rho_0$  в широком диапазоне от 30 до 200 кг/м<sup>3</sup> и более в зависимости от требуемой механической прочности и конкретного применения изделий.

**Горючесть и воспламеняемость.** Повышение стойкости пенополиуретанов достигается за счет введения специальных добавок – *антипиренов*, замедляющих и останавливающих процессы горения.

Жесткие пенополиуретаны при горении не образуют расплава, устойчивы к искрам и тепловому излучению.

**Общие эксплуатационные свойства.** Жесткие пенополиуретаны устойчивы к растворителям, пластификаторам и компонентам, применяемым в строительных работах и при устройстве гидроизоляционных оболочек. Такие пенополиуретаны химически устойчивы к минеральным маслам, различным видам топлива, разбавленным растворам кислот и щелочей, алифатическим и ароматическим углеводородам, агрессивной промышленной атмосфере. Разрушают полимерную матрицу диметилформамид и концентрированные кислоты – соляная HCl, серная H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, азотная HNO<sub>3</sub>. При длительной эксплуатации пенополиуретанов в открытом состоянии происходит деструкция, связанная с воздействием УФ-излучения, что требует применения специальных защитных слоев.

Жесткий пенополиуретан устойчив по отношению к плесневым грибкам, не подвержен разложению и гниению, физиологически безвреден и разрешен к применению в жилом строительстве, холодильной технике, изготовлении товаров культурно-бытового назначения.

Жесткий пенополиуретан имеет *высокую адгезию практически ко всем* материалам, за исключением отдельных полимеров, не вызывает коррозии, легко поддается механической обработке.

Таким образом, благодаря уникальному комплексу физико-механических и эксплуатационных характеристик жесткий пенополиуретан является материалом, свойства которого удовлетворяют требованиям строительной теплофизики, экологическим и законодательным требованиям в трубопроводном и промышленном строительстве, для технологического оборудования, в криогенной, рефрижераторной и отопительной технике; и основное применение пенополиуретана – это, безусловно, различные системы централизованного теплоснабжения.

### **Области строительства, где применяется пенополиуретан ППУ, и номенклатура продукции:**

**1. Бесканальное, канальное и наземное строительство магистральных и коммунальных теплосетей, водоводов горячего и холодного водоснабжения, инженерных сетей химических и нефтехимических производств, газо-, нефтепроводов, рефрижераторного и криогенного оборудования с применением предварительно изолированных в заводских условиях трубопроводов и фасонных изделий отводов, тройниковых ответвлений, стартовых компенсаторов, запорной арматуры и других элементов.**

**2. Реконструкция и ремонт существующих трубопроводов различного назначения канальной и наземной прокладки с применением теплоизоляционных изделий в виде пенополиуретановых полуцилиндров, сегментов, отводов, тройников, сборно-разборных конструкций для запорной арматуры.**

**3. Инженерное оборудование промышленных и жилых зданий.** Теплоизоляция теплопроводов и трубопроводов горячего и холодного водоснабжения, блочных тепловых пунктов, емкостей для горячей воды, систем отопления греющим полом, вентиляционных каналов и каналов систем кондиционирования воздуха, бытовых установок кондиционирования воздуха с применением фасонных изделий и напылительных систем.

**4. Возведение новых зданий и утепление возведенных,** производство стеновых и кровельных трехслойных панелей типа «Сэндвич» с различным исполнением наружных слоев и возможность заполнения узких пространств внутренним слоем из пенополиуретана.

Наружная теплоизоляция полых, вентилируемых и сплошных фасадных стен.

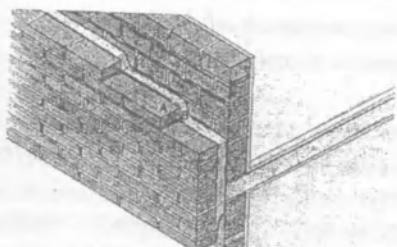
Все варианты внутренней теплоизоляции – полы, междуэтажные перекрытия, чердачные помещения, заделка стыков панелей, оконных и дверных проемов (герметизация уплотнение). Теплоизоляция плоских, пологих крыш и крыш с крутыми скатами плитами и многослойными изделиями, в различном исполнении, укладываемыми на стропила; между ними и под ними; применение напыляемых пенополиуретановых систем; для монтажа электропроводки, для заполнения любых отверстий, швов и зазоров снаружи и внутри помещений. Сначала заполняется объем на 1/3, и через 30...40 минут на открытом воздухе или через 3 часа в щели происходит полное заполнение.

Таким образом, *жесткие пенополиуретаны* это:

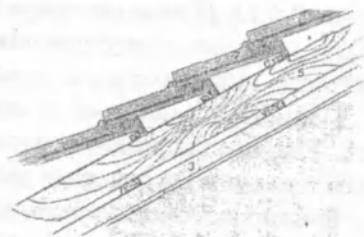
- производство изделий для тепловой изоляции газо- и нефтепроводов, водоводов горячего и холодного водоснабжения, инженерных сетей химических и нефтехимических производств, цистерн, хранилищ, емкостей и других промышленных объектов, оборудование рефрижераторной и криогенной техники. Производство предизолированных пенополиуретаном пластмассовых и стальных труб в полиэтиленовой гидрозащитной оболочке (труба в трубе);
- теплоизоляция зданий, кровель, изготовление трехслойных конструкций типа сэндвич, стеновых панелей (рис. 2.6);
- антикоррозионная защита каркасов, полостей кузовов, теплозвукоизоляция и герметизация салонов при производстве автобусов, легковых и грузовых машин;
- теплоизоляция холодильного, рефрижераторного и криогенного оборудования (рис. 2.6).

*Эластичные и интегральные пенополиуретаны* используют для изготовления подушек и спинок сидений, подлокотников, щитков, подголовников, амортизаторов, различных эластичных накладок в автомобиле-и самолетостроении, мебельной промышленности.

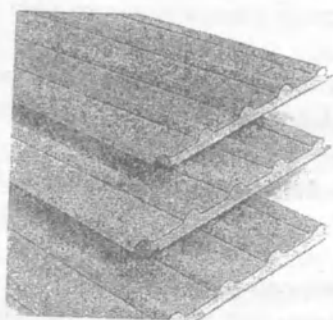
Ликра – торговое название полиуретановых волокон.



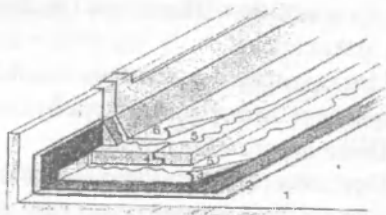
Изоляция внутри воздушной прослойки между наружными и внутренними стенами:  
 А – кирпичи; Б – полиуретан



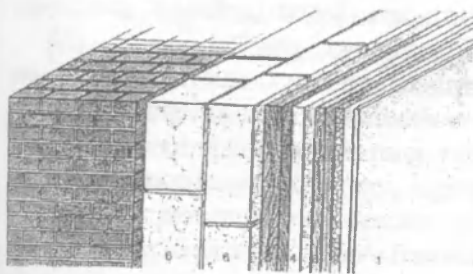
Чердачное помещение мансардного типа. Сечение вдоль пролегания балок:  
 1 – коррозионно-устойчивые гвозди специального типа; 2 – лист мелованного картона; 3 – плитка из полиуретана (ППУ); 4 – обрешетины; 5 – балка; 6 – верхние обрешетины кровли; 7 – черепица



Полиуретановые панели жесткого типа



Изоляция плоской кровли:  
 1 – плита перекрытия; 2 – битумная грунтовка; 3 – паровой барьер на клеящем веществе; 4 – плитка из полиуретана; 5 – мастика; 6 – водонепроницаемый слой



Данные по толщине элементов строительных и изоляционных материалов, обеспечивающей одинаковые теплоизоляционные свойства:  
 1 – полиуретан (ППУ) 30 мм;  
 2 – минеральные волокна 55 мм;  
 3 – пробка 60 мм;  
 4 – волокнистая плита 90 мм;  
 5 – еловая древесина 120 мм;  
 6 – железобетон  $1700 \text{ кг/м}^3$  750 мм;  
 7 – полнотелый кирпич 900 мм

Рис. 2.6. Отдельные примеры применения в строительстве жестких пенопластов

### **2.6.13. Пенополистирол – современный эффективный теплоизоляционный материал**

Полистирол занимает в мировом производстве пластмасс 3-е место. Теплоизоляционный поропласт на его основе широко применяется в различных отраслях экономики.

В Европе, Америке и Азии пенополистирол называют *стиропором*, по названию исходного материала, применяющегося для его производства.

Сырье для него – бисерный вспенивающий полистирол типа ПСБ (без добавки антипирена), ПСБ-С и ПСБ-П (с добавкой антипирена), который изготавливают путем суспензионной полимеризации стирола в водной сфере в присутствии низкокипящего растворителя – изопентана и тетрабромсилола.

В Беларуси полистирол не производится. Его покупают в Украине, Казахстане (Шевченко) и России (Салават, Узловая (Тульская обл.), Ангарск).

Импортный полистирольный бисер дороже российского, и для покупки его за границей требуется дефицитная у белорусских предприятий валюта.

Пенополистирол получают из полистирола (ГОСТ 15588-86) (стиропена) путем вспучивания при нагревании под действием газообразователя. В результате образуются гранулы размером 5...15 мм. Иногда их используют в теплоизоляционных засыпках или в качестве легкого заполнителя в производстве теплоизоляционных штучных материалов с применением различных связующих (полистиролбетон, полистиролпенобетон). Большой же частью гранулы пенополистирола перерабатываются в изделия (плиты, блоки, скорлупы и др.) без применения каких-либо вяжущих.

По технологии производства изделия из пенополистирола ППС делят на два класса, существенно отличающихся своими свойствами.

**Изделия первого класса** формируют путем спекания гранул друг с другом при повышенных температурах в формах (подвергают тепловому удару, пуская пар). В качестве строительной теплоизоляции наиболее распространены плиты пенополистирольные (ППС)

по СТБ 1437-2004 «Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия», устанавливающие повышенные требования к пенополистиролу, допущенному к применению в легких штукатурных системах утепления.

Этот стандарт предусматривает новое обозначение плит. Условное название плит пенополистирольных теплоизоляционных (ППТ) состоит из буквенного обозначения наименования плиты, марки, вида, размеров по длине, ширине и толщине в миллиметрах. Обозначение плит пенополистирольных теплоизоляционных, предназначенных для наружной тепловой изоляции, марки 15Н, вида В, длиной 1000, шириной 500 и толщиной 50 мм будет выглядеть следующим образом:

ППТ-15Н-В-1000 х 500 х 50 СТБ 1437-2004.

*Изделия второго класса* получают путем смешивания гранул полистирола при повышенных температурах с последующим введением вспенивающего агента и выдавливанием из экструдера. Эти изделия также широко применяются в строительстве и хорошо известны под названием *экструдированный пенополистирол (ЭПС)*.

**Плиты пенополистирольные теплоизоляционные** изготавливаются беспрессовым способом из суспензионного вспенивающегося полистирола, с добавкой антипирена (ПСБ-С) или без добавки на Минском комбинате силикатных изделий, в НИИСМе, ООО «Анастан» (Минск), ОАО «Березовский КСИ», АП «Минский КСИ», ЗАО «Могилевский КСМ». ОАО «Ронта-Секьюрити» (г. Минск), ООО «Эухарис» (г. Минск), ООО «Сармат» (Минск). Размеры плит, мм: длина – до 2000, ширина до – 1300, толщина – 30...600.

**Назначение.** Плиты предназначены для тепловой изоляции строительных ограждающих конструкций (фундаментов, полов, стен, крыш и перекрытий), том числе тепловой реабилитации эксплуатируемых зданий и сооружений и промышленного оборудования при температуре изолируемых поверхностей не более 80 °С, а также для применения в качестве упаковочного, отделочного материала и других целей. Его применяют для теплоизоляции стен (в том числе в качестве несъемной опалубки), покрытий зданий, в холодильной технике и др.

Пенополистирол (ППС) является также эффективным жестким плитным утеплителем:

- для конструкций из профстальнастила;
- для панелей покрытий и перекрытий;
- для стеновых панелей внутри ограждающей конструкции (трехслойные бетонные и железобетонные панели, слоистая кладка, «Сэндвич-панели»);
- в качестве утеплителя железнодорожного земляного полотна ПСБ-60.

Для решения задачи импортозамещения УП «Институт НИПТИС» совместно с НИИ ПБиЧС были разработаны Изменения № 1 к пособию «Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений» ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01-87, требования которого распространяются на устройство легкой штукатурной системы утепления с применением пенополистирольных плит D35 и D50 фасадов следующих зданий:

– жилых зданий высотой до 12 этажей включительно (в т. ч. с мансардами) в областных центрах республики и г. Минска; например серия 1-464У1;

– жилых зданий высотой до 9 этажей включительно (в т.ч. с мансардами) для городов областного подчинения и районных центров.

На характеристики пенополистирола сильно влияет технология его производства. Изделия с низким водопоглощением, высокими теплоизоляционными свойствами и высокой плотностью поверхностного слоя можно получить только на самом современном технологическом оборудовании.

Качественные пенополистирольные плиты характеризуются низкой *теплопроводностью* (0,027... 0,045 Вт/(м · К)) и *плотностью* (10 ... 35 кг/м<sup>3</sup>). При этом прочность пенополистирола позволяет применять его в качестве конструктивного элемента, способного нести значительные нагрузки в течение длительного времени. Так, прочность на сжатие при 10 %-й линейной деформации составляет для различных марок 20...350 кПа. Пенополистирол отличается чрезвычайно малой *гигроскопичностью* (0,05...0,2 %). *Водопоглощение* (не более 0,4...1,5 % по объему при погружении в воду на 24 часа) настолько мало, что позволяет в системах утепления пренебречь влиянием на теплопроводность.

### *Достоинства ППС:*

- стойкость к действию кислот и щелочей;
- водостойкость;
- хорошие механические и электроизоляционные показатели;
- трудная воспламеняемость;
- стойкость к гниению.

Диффузия водяного пара в пенополистироле практически отсутствует, т.е. пенополистирол имеет очень низкое значение паропроницания. Из-за применения ППС в стенах и при отсутствии вентиляции в жилых комнатах практически прекращается процесс так называемого дыхания стен, то есть микроклимат в помещениях меняется сразу. ППС на порядок хуже, чем минеральная вата, обеспечивает циркуляцию влаги. Для удаления из помещений избытка влаги необходима эффективная система вентиляции, которой, к сожалению, обычно нет в утепляемых ППС домах, поэтому влага остается внутри квартир, повышая относительную влажность до недопустимых величин. В результате – плесень на стенах, почерневшие, отставшие от стен, обои, затхлый воздух и наилучшие условия для респираторных заболеваний, размножения грибов и аллергенных вирусов, от воздействия которых в первую очередь страдают дети.

Основной *недостаток ППС* – его горючесть, что ограничивает область его применения, особенно для повышенной теплозащиты эксплуатируемых зданий.

Уже при температуре 70...110 °С он начинает выделять ядовитые вещества. Именно это является причиной гибели людей во время пожаров в жилых домах и двух московских гостиницах в XX веке. Большинство погибших задохнулись в парах формальдегида и стирола – отравляющих веществах третьего и четвертого класса опасности – еще до момента приезда пожарных. А наши жилые дома строились по советским проектам, где не предусмотрены ни запасные лестницы для скорой эвакуации, ни автономные системы пожаротушения. Кроме этого, наши дома расположены плотно друг к другу, поэтому при пожаре существует реальная опасность отравления ядовитыми веществами жителей соседних домов.



Пенополистирол может применяться в конструкциях, работающих при отрицательных температурах до  $-65^{\circ}\text{C}$ , но обладает невысокой температурной стойкостью, поэтому СТБ 1437-2004 устанавливает верхнюю границу применения пенополистирольных плит  $+80^{\circ}\text{C}$  (реально  $60^{\circ}\text{C}$ ). Ограничение связано с тем, что при температуре более  $100^{\circ}\text{C}$  материал начинает медленно размягчаться и усаживаться. Это особенно нежелательно в легких штукатурных системах утепления (ЛШС), окрашенных в темные цвета, где температура декоративно-защитного слоя ЛШС в жаркие летние дни может достигать  $75...85^{\circ}\text{C}$ .

При температуре на фасаде около  $50^{\circ}\text{C}$  начинается интенсивное разложение ППС (оно идет постоянно и при более низких температурах). Летом при нагреве солнцем поверхностей фасада создаются условия, уничтожающие утеплитель.

Пенополистирол не может долго противостоять воздействию ультрафиолетовых лучей. В результате длительного (около двух месяцев) солнечного облучения поверхность плит коричневеет и постепенно превращается в пыль. Перед отделкой пенополистирол должен быть тщательно очищен от этой пыли.

Стирол относится к группе конденсированных ароматических соединений, имеющих в своей молекуле одно или несколько бензольных ядер, и, подобно аналогичным веществам (бензол, бензпирен, безантрацен), относится к особо опасным. Полистирол же теоретически безвреден.

Как известно, программа по утеплению жилого фонда в первую очередь призвана сократить потери тепла из домов. В этой позиции сразу после сдачи утепленного здания в эксплуатацию ППС меньше всего проигрывает минеральной вате, но также немало — около 20 %. Но уже через 7...10 лет, как указывают специалисты, полимер пропускает тепла в два-три раза больше, что едва позволяет окупить затраты на устройство системы с его использованием, но отнюдь не экономить в дальнейшем тепло и деньги.

Недостатком материала является усадка, которую можно уменьшить путем его выдерживания до применения.

**Экструдированный пенополистирол (ЭПС).** Новый эффективный материал «пеноплэкс» — пенополистирольные плиты, получаемые экструзионным методом из полистирола общего назначения, его отличают высокая прочность к воздействию нагрузок в сочетании

с влагостойкостью, ничтожной гигроскопичностью и низкой теплопроводностью. Производство этого высококачественного материала освоено в июне 1998 года в городе Кириши Ленинградской обл. (Россия). На заводе установлено оборудование итальянской фирмы LMP Impianti. Плиты «пеноплэкс» по своим характеристикам превосходят другие виды утеплителей и не уступают зарубежным аналогам (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Обеспечение  $R_t$  различными строительными материалами

20 мм	Пеноплэкс
25 мм	Пенополиуретан
40 мм	Пенополистирол
45 мм	Минвата
50 мм	Пробка
65 мм	Фибра
140 мм	Дерево
380 мм	Бетон
860 мм	Кирпичная кладка

Использование плит «пеноплэкс» в дорожном строительстве обеспечит стойкость покрытия автомагистралей и полотна железных дорог к деформации, т.к. предотвращает промерзание грунта и образование «ледяных» линз.

В отличие от теплоизоляционных пеноплит ПСБ-С и аналогичных им материалов, получаемых беспрессовым методом из вспенивающего полистирола, плиты «пеноплэкс» имеют закрытую ячеистую равномерную структуру в размерах пор 0,1...0,2 мм, заполненных фреоном ( $\lambda = 0,016 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ).

Благодаря особому исполнению плиты «пеноплэкс» не имеют пустот, способных поглощать воду, что и является основой высоких эксплуатационных характеристик.

Это подтверждается численными низкими и стабильными значениями теплопроводности ( $\lambda = 0,025...0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ), водопоглощения ( $W < 0,03 \%$  объемн. через 24 часа выдержки в воде) и прочностью на сжатие (до 0,65 МПа). Другие виды плит, изготовленные из пенополистирола по традиционным технологиям, имеют похожее

значение теплопроводности только в сухом состоянии (при температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ ), которая повышается в реальных условиях эксплуатации до  $0,06 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  при 10 %-й влажности плит. Согласно техническим условиям плиты «пеноплэкс» выпускаются плотностью  $38,6 \dots 50,0 \text{ кг}/\text{м}^3$  для типа 45, стандартной шириной 600 мм и длиной 1250, 2500, 4000 и 4500 мм.

Зависимость теплопроводности плит «Пеноплэкс» от плотности имеет экстремальный характер. Минимальные значения теплопроводности наблюдаются для плит плотностью  $30 \dots 40 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Такой характер зависимости обусловлен тем, что при малых значениях плотности (менее  $20 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) толщина стенок ячеек недостаточна для того, чтобы препятствовать потерям тепла за счёт излучения. С увеличением плотности пеноплит более толстые стенки ячеек снижают потери за счёт излучения, но одновременно увеличивается проводимость тепла через полистирольные стенки. С увеличением толщины плит «пеноплэкс» их коэффициент теплопроводности увеличивается незначительно, что выгодно отличает их от пеноплит других марок, например плит ПСБ-С.

Плиты «пеноплэкс» характеризуются влагостойкостью при длительном воздействии влаги, а также высокой стойкостью к воздействию пара, что обеспечивает сохранение эксплуатационных характеристик материала в прямом контакте с водой в любом температурном режиме.

Так, водопоглощение плит «пеноплэкс» через 28 дней выдержки в воде не превышает 0,2 %.

Плиты «пеноплэкс» характеризуются высокой прочностью на сжатие, значение которой зависит от плотности плит. Так, 45-й тип способен выдерживать нагрузку до  $65 \text{ т}/\text{м}^2$  при 10 %-й линейной деформации. Плиты «пеноплэкс» обладают значительной прочностью на сжатие ( $0,2 \dots 0,3 \text{ МПа}$ ) при длительном воздействии (1000 часов) нагрузки.

Теплоизоляционные и механические характеристики плит «пеноплэкс» находятся на одном уровне с аналогичными пеноплитами зарубежного производства. При этом следует отметить, что оптимальное содержание добавок в плитах «пеноплэкс» позволяет исключить каплепадение при испытаниях их на горючесть. Это качество выгодно отличает плиты «пеноплэкс» от других аналогичных пенополистирольных материалов.

Анализ теплоизоляционных и механических свойств плит «пеноплэкс» позволяет рекомендовать его для:

- теплоизоляции крыш;
- теплоизоляции полов и стен;
- теплоизоляции фундаментов и подвалов;
- теплоизоляции промышленных холодильных камер и термофургонов;
- теплоизоляции подложки при строительстве автомобильных и железных дорог;
- теплоизоляции сооружений аэропортов.

Использование плит типа «пеноплэкс» в качестве теплоизоляционного материала при строительстве обеспечивает сокращение теплотерь более чем на 75 % благодаря их существенному снижению за счёт излучения и проводимости через стены, подвалы и крыши.

Применение плит «пеноплэкс» в строительных конструкциях позволяет увеличить их срок службы в 2...3 раза по сравнению с классическими вариантами и до минимума снизить затраты на эксплуатацию. Работа с ним не требует средств индивидуальной защиты, так как «пеноплэкс» по химической природе инертное вещество, не подверженное гниению. Кроме того, «пеноплэкс» поддается обработке любыми инструментами с минимальными потерями.

*Styrodur C* – это плиты зеленого цвета из экструдированного твердого пенополистирола производства немецкого концерна BASF, не содержащие фреонов.

*Styrodur C* является трудновоспламеняющимся материалом, применяется в самых различных областях строительства.

При изготовлении *Styrodur C* в качестве вспенивающего агента применяется диоксид углерода  $\text{CO}_2$ . Затем происходит относительно быстрый газообмен между  $\text{CO}_2$  и окружающим воздухом, применяемый  $\text{CO}_2$  берется из рециркуляционного процесса газообмена. Поэтому он способствует парниковому эффекту. В готовых к применению плитах ячейки заполнены только воздухом.

*Styrodur C* поставляется в форме плит. Стандартные типы: 2500 C, 2800 C, 2800 CS, 8035 CS, 3035 CN, 4000 CS, 5000 CS.

Типы различаются прежде всего плотностью и прочностью на сжатие. Поверхность плит покрыта гладкой плотной коркой. Только

Styrodur 2800 C и Styrodur 2800 CS имеют рифленую поверхность, выполненную термическим способом.

Во избежание образования мостиков холода, для упрощения укладки или для улучшения внешнего вида плиты Styrodur C изготавливаются с кромками различной формы: прямые, «выбранная четверть», шип-паз.

*Styrodur 2800 C* и *Styrodur 2800 CS* – это теплоизоляционные плиты с двусторонней рифленой поверхностью в виде вафельного узора, предназначенные для применения в контакте с бетоном, под штукатуркой или другими покрытиями, а также со строительными клеями, не содержащими растворителей. Благодаря специальному рифлению поверхности обеспечивается отличное сцепление.

Плиты особенно подходят для теплоизоляции мостиков холода, бетонных поверхностей стен из кирпичной или каменной кладки, стен подвалов (теплоизоляция по периметру) и подвальных цоколей. Путем вставки в опалубку получают долговечное непосредственное соединение с бетоном по всей поверхности. Дополнительно механического крепления в большинстве случаев не требуется. Styrodur 2800 CS также подходит для внутренней теплоизоляции стен и потолков.

#### ***2.6.14. Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные по СТБ 1102-98***

***Полистиролбетон*** или ***пенополистиролбетон*** – смесь предварительно вспененных гранул полистирола, цемента и воды, получаемая путем формования и термообработки, существенно уступает полистирольному пенопласту по теплотехническим показателям, но является трудносгораемым материалом, что позволяет значительно расширить область его применения. Он выпускается с  $\rho_0 = 150...350 \text{ кг/м}^3$  и  $\lambda = 0,055...0,090 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  при  $t = 25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Легкий полистиролбетон в виде плит можно использовать так же, как и ППС: для тепловой изоляции традиционных строительных конструкций зданий, наружных стен в крупнопанельном и объемно-блочном домостроении, покрытий по металлическому профильному настилу, для использования в качестве теплоизоляционного и несущего материала для устройства полов, потолков, перегородок и

перекрытий, утепления балконов, мансард, крыш и наружных стен зданий и сооружений, для тепловой изоляции промышленного оборудования при температуре изолируемых поверхностей не выше 80 °С в соответствии с требованиями строительной теплотехники, других целей. Имеет высокое сцепление с цементным раствором.

### 2.6.15. Полистиролгазогипс

*Композиция и технология.* Основной композиции является водостойкий газогипсобетон с добавкой ГКЖ, а в качестве заполнителя применяется вспученный дисперсный полистирол.

Технология включает получение формовочной литой смеси газогипсобетона, смешение со вспученным полистиролом, формование и распалубку через 1 час.

*Назначение.* Полистиролгазогипс – теплоизоляционный и акустический материал, может использоваться в жилых и промышленных помещениях в виде плит, блоков или монолитных элементов.

*Свойства.* Экологически чистый материал, по своим физико-механическим свойствам превосходит полистиролбетон, в том числе по водостойкости, огнестойкости и долговечности.

*Технические характеристики.*

Предел прочности при изгибе, МПа  $R_{изг} = 0,1 \dots 0,2$  МПа

Средняя плотность  $\rho_0 = 150 \dots 200$  кг/м<sup>3</sup>

Коэффициент

теплопроводности, Вт/(м·К)  $\lambda = 0,06 \dots 0,07$  Вт/(м·К)

Водопоглощение по объему, %  $W = 6 \dots 12$  %

Горючесть по ГОСТ 12.1.044-89 трудносгораемый

Этот новый строительный материал наряду с известными достоинствами гипсовых материалов, такими, как высокие гигиенические свойства, обеспечивающие благоприятный климат в помещении, характеризуется:

- пожарной безопасностью;
- технологичностью;
- низкой энергоемкостью;
- дополнительно обладает высокой водостойкостью;
- атмосферостойкостью;
- тепло- и звукоизоляцией.

### 2.6.16. Плиты теплоизоляционные на основе пенобетона и вспененных органических заполнителей (плиты полистиролпенобетонные)

*Изготовление.* Плиты изготавливаются из вспененных гранул полистирола, поризованного минерального связующего (смеси цемента, воды) и добавок (или без них) путем формования и твердения.

*Назначение.* Плиты предназначены для тепловой изоляции строительных конструкций зданий и сооружений, а также для тепловой изоляции промышленного оборудования при температуре изолируемых поверхностей не выше 80 °С.

*Физико-механические характеристики*

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_0 = 160 \dots 230$
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	$R_{сж} \geq 0,15$
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	$R_{из} \geq 0,10$
Сорбционная влажность за 72 ч, %, не более	8,0
Теплопроводность при температуре (25±5)°С, Вт/(м·К), не более	$\lambda = 0,058$
Влажность, %, не более	$W = 12,0 \%$
Размеры плит, мм:	
длина	1000
ширина	500
толщина	80...200

### 2.6.17. Вата целлюлозная (эковата)

Возросшие экологические требования к строительным материалам в Западной Европе привели к появлению ваты целлюлозной. Ее плотность – 30...70 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность – 0,040 Вт/(м·К); воздухопроницаемость – около  $65 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/мс·Па, звукопоглощение при толщине слоя 1 дюйм (25 мм) – 9 дБ.

Вата изготавливается в основном из целлюлозы (в ее состав входит бумага, бура, борная кислота). После многократного измельчения бумагу в специальном контейнере смешивают с антисептиками и антипиренами.

Целлюлоза, как известно, легко впитывает и отдает влагу. При этом вата не сильно увеличивается в объеме и не высыхает. Этот утеплитель способен поглотить количество воды, которое в 5-6 раз будет превышать его собственную массу. Колебания влажности, как утверждают производители, не влияют на теплоизолирующую способность этого материала. При этом входящие в состав эковаты антипирены (борные соединения) обеспечивают защиту от гниения, утеплитель является дополнительной защитой для деревянных конструкций, т. к. в нем не могут существовать дереворазрушающие грибки. Кроме того, в материале *не селятся* грызуны. Благодаря способности ваты целлюлозной «дышать», ее применяют без дополнительной пароизоляции. Согласно гигиеническим нормативам целлюлозный утеплитель – экологически чистый материал.

Целлюлозная вата лучше всего подходит для утепления деревянных домов, при этом отпадает необходимость возводить толстые стены. Этим материалом утепляют полы, междуэтажные, кровельные и цокольные перекрытия. Фасадную теплоизоляцию осуществляют в основном в виде колодцевой кладки.

В Беларуси целлюлозная вата не производится.

### **2.6.18. Солома прессованная**

Солома прессованная – это местный природный возобновляемый из недефицитного сырья, экологически чистый теплоизоляционный материал.

В Германии дома из глины и соломы возводились в больших количествах после первой мировой войны, когда в стране царили экономический кризис и безработица. Кстати, некоторые из этих зданий находятся в прекрасном техническом и эксплуатационном состоянии до сих пор. В Беларуси в XVII веке дома с обшивкой стен и крышами из соломы были широко распространены на Полесье.

Соломенные дома всегда считались домами для бедных. Но времена меняются. Для современного человека здания из глины и соломы ценны и интересны с точки зрения экологии. Пожалуй, никакая другая технология строительства не является настолько экологически чистой и безопасной.



Пессимисты ассоциируют идею использования соломы в строительстве со сказкой о трех поросятах, один из которых, как известно, пострадал от своего легкомыслия, построив соломенный домик.

Строительство соломенных экодомов в Беларуси началось в 1996 году.

К 2006 году построено лишь несколько десятков подобных строений. Почему так мало? Одна из главных причин – нелепые стереотипы. Пока для подавляющего большинства населения нашей страны престижными являются именно экологически грязные здания из традиционных строительных материалов. Подобное пагубное недомыслие резонно сравнить с самоубийственным пристрастием к табаку.

Прессованные из ржаной или пшеничной соломы соломенные блоки при средней плотности  $\rho_0$  в сухом состоянии 38...50 кг/м<sup>2</sup> имеют теплопроводность  $\lambda = 0,08...0,12$  Вт/(м · К).

Размеры соломенных блоков могут варьироваться в широких пределах. Оптимальными размерами являются 90 см в длину, 45 см в ширину и 35 см в высоту. Масса такого блока – около 23 кг.

Все прекрасно знают, как горит солома. Но, например, и бумага горит не хуже. Попробуйте поджечь толстую книгу – это будет довольно-таки сложно. Соломенный блок, при условии, что солома в достаточной мере спрессована, напоминает такую книгу. Тем более не следует забывать, что соломенные сооружения всегда покрываются толстым слоем штукатурки, что в значительной мере снижает опасность возникновения пожара. Соломенный тюк с такой плотностью горит не быстрее древесины, а если устранить источник огня – затухает вовсе. Во время эксперимента в лаборатории в открытом пламени соломенный тюк полностью сгорел лишь за 30 минут.

Стены, сложенные из соломенных тюков шириной, согласно СНБ для кирпичных зданий, в 500 мм, имеют коэффициент термического сопротивления около 10 (СНБ для ограждающих конструкций требуется увеличение этого коэффициента не менее 2,5 для панельных сооружений и не менее 2,0 – для сооружений из штучных материалов).

Для сравнения: стена из эффективного глиняного кирпича толщиной 78 см имеет сопротивление теплопередаче 2,0. Жилье из прессованной соломы может служить 100 и более лет.

Возведение домов из соломенных блоков может осуществляться двумя основными способами.

**Первый** основан на использовании несущего каркаса из дерева (иногда из металла), который заполняется соломенными блоками, пропитанными биоогнезащитными составами (рис. 2.7).

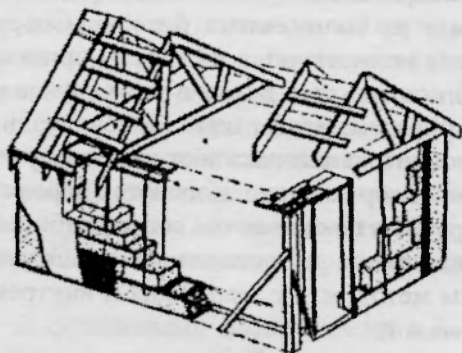


Рис. 2.7. Возведение соломенного дома с несущим каркасом

Во **втором** случае несущие стены выкладываются непосредственно из соломенных блоков на глиноцементном растворе. Считается, что каркас придает сооружению дополнительную прочность, но практика показывает, что конструкция, при которой несущие стены выполнены исключительно из соломенных блоков, вполне надежна (рис. 2.8).

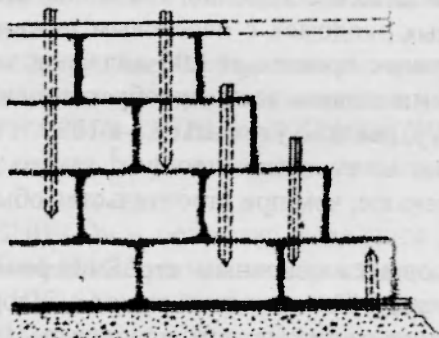


Рис. 2.8. Сооружение стен из соломенных блоков

**Каркасная конструкция.** Каркас для соломенного дома по своей конструкции идентичен тем, что выполняются при строительстве щитовых домов. Он сооружается из деревянных брусьев квадратного сечения 100 x 100 мм, после чего заполняется соломенными блоками с двойной обвязкой, которые скрепляются между собой вертикально вбитыми кольями.

**Несущие стены из соломенных блоков.** Сооружение стен из соломенных блоков не отличается по своему принципу от сооружения обычных кирпичных стен. Блоки в этом случае укладываются в перевязку таким образом, чтобы швы не совпадали. Для придания конструкции дополнительной жесткости используют самые разные приемы – например, вертикально вбиваются деревянные колья или металлические прутья и покрываются сеткой рабицей (см. рис. 2.8).

Снаружи выполняются гидроизоляция и оштукатуривание или облицовка любым методом, т.е. наружная и внутренняя отделка не отличается от обычной.

Первые соломенные дома в Беларуси построены в 1997 г. в поселке Дружная на озере Нарочь, затем – в деревнях Михидовичи и Куритичи Петриковского района в Полесье, в деревне Занарочь Мядельского района, деревне Копатковичи Гомельской области, в Минской области. Стоимость 1 м<sup>2</sup> – около 200 долларов.

Достоинства соломенного экоддома очевидны. Вот главные из них:

– такой дом не просто экологически чистый, а, берем выше, биопозитивный, т.к. активно улучшает физическое и психическое состояние человека;

– он в 2...3 раза дешевле каменного жилища. Стоимость самых дорогих соломенных экоддомов с передовым инженерным оснащением в редких случаях превышает 200 долларов за 1 м<sup>2</sup>. Если же ограничиться своими силами и не приобретать, скажем, слишком дорогую сантехнику, реально уложиться и в 100;

– расход энергии на строительство 1 м<sup>2</sup> такого дома приблизительно в 300 раз меньше, чем при строительстве обычного каменного жилища;

– солома, являющаяся основным стройматериалом для такого дома, всегда в достатке. Ее ежегодный выход с белорусских полей – порядка 4 миллионов тонн. На дом площадью 100...300 м<sup>2</sup> идет ориентировочно 4...7 тонн этого возобновляемого материала;

– на отопление и горячее водоснабжение такого дома тратится совсем немного энергии – где-то  $20...30 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  в год. Сопротивление теплопередаче стены из соломенных блоков толщиной  $70...80 \text{ см}$  в 4 раза превышает действующий нормативный показатель;

– такой дом на 1-2 семьи можно построить всего за  $2,5...4$  месяца;

– он не требует дорогой в эксплуатации строительно-монтажной техники. Его надземная часть возводится вручную, лишь для устройства фундамента бывает нужна бетономешалка.

Зимой дом теплый, летом – прохладный с хорошей звукоизоляцией.

С 12 по 14 августа 2005 года под Минском прошел 4-й Международный научно-практический семинар по вопросам строительства и инженерного оснащения экодому, имеющих биопозитивные ограждающие конструкции из соломенных блоков и других природных материалов. Участие в семинаре приняли специалисты из России и Молдовы.

Строительство соломенных домов ведется в Беларуси с 1996 года. В настоящее время в республике уже построено несколько десятков подобных строений. Они отличаются низкими затратами на строительство, высокими экологическими качествами, малыми затратами энергии на производство строительных материалов и возведение, а также низким энергопотреблением во время эксплуатации. По информации, звучавшей на семинаре, сопротивление теплопередаче наружных стен из соломенных блоков достигает  $10 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , что в 4 раза превышает действующий нормативный показатель. В Беларуси начинается и устройство тростниковых крыш, внедрение ветроэнергетических установок и солнечных коллекторов.

### *2.6.19. Энергосберегающие краски*

*(термоизоляционные керамические покрытия)*

*«THERMO-SHIELD» (ТЕРМО-ШИЛЬД)*

*(гражданский опыт применения космической технологии)*

«THERMO-SHIELD» – покрытие, созданное для изоляции космических кораблей НАСА от критических температур Вселенной.

«THERMO-SHIELD» представляет собой окрасочное покрытие, которое после высыхания обладает очень низким коэффициентом теплопроводности, обеспечивающим при толщине слоя не менее  $0,3 \text{ мм}$  добавочное термосопротивление  $R_T = 0,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{K)}/\text{Вт}$  (т.е.  $0,3 \text{ мм}$

покрытия по теплозащитным свойствам эквивалентны примерно 6 см пенополистирола (ППС) или 1 см пенополиуретана (ППУ)). Такое низкое значение коэффициента теплопроводности достигается за счет оригинальной структуры покрытия, которое состоит из полых, вакуумированных сфер (BaSi или другие соединения) с размером порядка 10...50 мкм (рис. 2.9), перемешанных в акриловой основе.

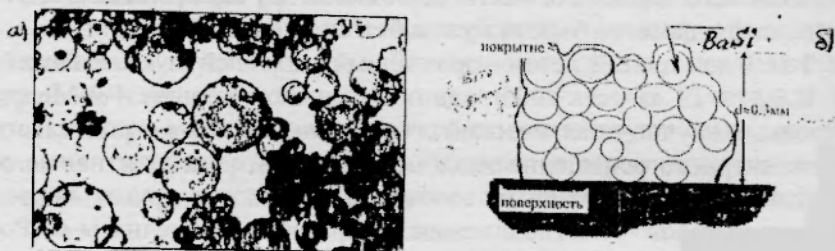


Рис. 2.9. Структура покрытия THERMO-SHIELD, возникающая на окрашенной поверхности:  
*a* – до высыхания; *б* – после высыхания

Полые стеклянные микросферы (ПСМ) представляют собой мелкодисперсные легкосыпучие порошки, состоящие из тонкостенных (0,5...2,0 мкм) стеклянных частиц сферической формы диаметром 10...150 мкм и имеющих низкую насыпную плотность – (0,2 г/см<sup>3</sup>). Конечные свойства материала, в котором ПСМ применяются как наполнитель, определяют диаметр микросфер и гранулометрический состав, толщину стенок, вид стекла и количество ПСМ в готовом составе благодаря уникальному сочетанию сферической формы, контролируемых размеров, низкой плотности, относительно высокой прочности на всестороннее сжатие, хороших тепло-, звукоизоляционных и диэлектрических свойств, ПСМ являются одним из важнейших техногенных наполнителей полимерных материалов.

После нанесения материала влага испаряется и после процесса высыхания оставляет сжатую, многослойную, открытую для диффузии и снижающую интенсивность потери тепла поверхность – своеобразный пудинг из вакуумированных шариков, связанных тонкой акриловой пленкой (см. рис. 2.9). Свойства «THERMO-SHIELD» сохраняются в диапазоне температуры от 80 до 150 °С.

Общеизвестно, что тепло с поверхности стены уходит двумя способами: во-первых, за счет конвективного теплообмена, нагревая

прилегающий слой воздуха, и, во-вторых, за счет радиационного излучения, когда поверхность излучает энергию в сторону более холодных тел. Согласно оценкам специалистов именно способность материала ограждающих конструкций поглощать и излучать энергию во многом определяет тепловой режим здания. Так, для отдельно стоящего строения до 93 % потерь тепла через кровлю и до 75 % тепла через стены происходит за счет теплового излучения. Количество тепла, излучаемое поверхностью стены, зависит в основном от двух факторов: от степени черноты материала поверхности и от того, в каком месте расположено здание. Поменять условия местонахождения здания невозможно, а вот уменьшить излучение с поверхности стены – вполне решаемая задача. Степень черноты энергосберегающих покрытий меньше, чем у кирпича или бетона, соответственно поверхность, покрытая энергосберегающими красками, излучает меньше тепла. Пленка краски выполняет в данном случае роль своеобразного «теплового зеркала», отражающего и рассеивающего часть теплового потока. Поток достигает наружной поверхности стены, частично возвращается обратно, повышая температуру на внутренней поверхности стены.

Таким образом, энергосберегающие свойства красок *Thermo-shield* объясняются не низкой теплопроводностью или высоким сопротивлением теплопередаче, а тем, что они, имея в своем составе большое количество полых сферических тел, представляют собой энергоотражающую систему, имеющую низкую излучательную способность собственной поверхности, и минимальное поглощение падающего на нее солнечного тепла.

## THERMO-SHIELD

### ТЕРМОКЕРАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПОКРЫТИЯ

#### Характеристики

<p><b>THERMO-SHIELD</b> Интерьер, экстерьер</p>	<p>Открытое для диффузии (воздухопроницаемое) звукоизолирующее, износостойчивое, готовое для применения внутри и снаружи зданий (класс В1). Трудновозгораемое, отталкивает грязь, воду, устойчиво к ультрафиолетовому излучению, озоно- и смогорезистентно, не выделяет газ, не содержит маслорастворителей, экологически чистое. Отражает 86 % теплового излучения. Не впитывает никотин</p>
---	---

<p><b>THERMO-SHIELD</b> Интерьер, экстерьер</p>	<p><b>Пропускает инфракрасное излучение.</b> Водонепроницаемое, эластичное, изолирующее, готовое для обработки крыш и санирования бетона. Сглаживает микротрещины на фасаде. Трудновозгорасмо (класс В1) (до 6 м водяного потока), озоно- и смогорезистентно, не содержит растворителей, высокоэластично</p>
<p><b>Сфера применения</b> <b>THERMO-SHIELD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• тепло- и звукоизоляция жилых и производственных помещений внутри и снаружи</li> <li>• теплоизоляция холодильных складов и изотермических емкостей (холодильники, морозильники и т.п.)</li> <li>• теплозащита кораблей, самолетов, автомобилей, контейнеров и рефрижераторов</li> <li>• дополнительная теплоизоляция трубопроводов, тепловых сетей и т.д.</li> <li>• тепловая защита емкостей и цистерн для перевозки нефтепродуктов.</li> </ul> <p><b>THERMO-SHIELD</b> защищает, к примеру, микросхемы, восприимчивые к высокой температуре, во всех цифровых видео- и фотоаппаратах SONY</p>	<p>Для всех прочных, чистых, сухих, нержавеющих и обезжиренных поверхностей, например, металлическое дерево, пластмасса, пеноматериалы, текстиль, искусственные волокна, старая и новая штукатурка, нанесенное ранее покрытие</p>
<p><b>Модернизация</b></p>	<p>Новый теплоизоляционный материал рекомендуется применять в зданиях старых серий (так называемых «хрущевках»), покрывая им пол на первом этаже и потолок – на последнем. Ни для кого не секрет, что летом на пятом этаже такого дома очень душно, а зимой – холодно. <b>THERMO-SHIELD</b> обеспечивает комфортность проживания независимо от погодных условий</p>

<b>Покрытие крыш</b>	Это особенно актуально в летний период, когда требуется отразить большую часть солнечной энергии, чтобы крыша не перегрелась. Покрытие для крыш <b>TOP-SHIELD</b> водонепроницаемо при дожде, снеге и граде, поглощает звуки, заделывает трещины, соединяет материалы, обладает высокой отражающей способностью и устойчивостью к ультрафиолетовому излучению
<b>Чистка</b>	<i>Допускается чистка щеткой и моющими средствами</i>
<b>Качество</b>	<i>Гарантия качества от производителя – 10 лет</i>

Отметим, что в рамках программ экспериментального строительства Министерства строительства и архитектуры в 2001-2002 годах в г. Минске с помощью покрытия «Термо-Шилд Экстерьер» санированы здание гостиницы «Минск» и жилой дом по ул. Воронянского, 50, корп. 4. Промежуточные результаты проводимого специалистами УП «Институт НИПТИС» мониторинга теплозащитных свойств ограждающих конструкций объектов показывают, что энергосберегающая эффективность терموкерамических покрытий составляет 17 %.

### **3. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СВЕТОВЫХ (ОКОННЫХ) ПРОЕМОВ**

Наибольшие потери тепла в здании (строснии) сосредоточены в так называемых мостиках холода. Это:

- соединение «стена – крыша»;
- стыки «окна – стены»;
- радиаторные ниши;
- утечки тепла через балкон;
- оконный проем.

Оконные проемы и их заполнение – самое больное место при создании энергосберегающих ограждений в зданиях.

В настоящее время около 50 % окон в существующих зданиях Республики Беларусь выработали свой срок.

Самочувствие людей, находящихся в помещении, напрямую зависит от его микроклимата, определяемого, в частности, такими



факторами, как температура и влажность воздуха, а также содержание в нем диоксида углерода –  $\text{CO}_2$ .

Замена старых окон, имевших неплотности и щели, на новые – герметичные, с хорошо продуманной системой уплотнений неизбежно приводит к нарушению режима естественной вентиляции помещений. В настоящее время проблема доступа свежего воздуха в помещения через герметичные оконные конструкции является одной из наиболее остро стоящих перед специалистами и до сих пор еще не нашла своего окончательного решения.

Особое место в проблеме оконных проемов в наружных стенах отводится их заполнению, которое должно обеспечивать следующие виды комфорта:

- *световой* – максимальная освещенность;
- *тепловой* – минимальные потери тепла, т.е. недопустимость избыточных теплопотерь;
- *шумовой* комфорт в помещении – максимальная защита от шума;
- достаточная *воздухопроницаемость* для работы естественной вентиляции при отсутствии приточно-вытяжной.

И по сей день не во всех странах удастся найти приемлемое решение по совмещению всех этих функций. Совместить эти функции (эти виды комфорта) не всегда удается.

В идеале заполнение оконного проема, так же как и стеновые конструкции, должно обладать одинаковыми характеристиками:

- по защите от шума;
- по потерям тепла;
- по прочности,

обеспечивая при этом необходимую естественную освещенность, комфортное проветривание, простоту и удобство в эксплуатации.

Однако приближение к этому идеалу связано с серьезными материально-техническими трудностями. Это показано в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Конструкция	Сопrotивление теплопередаче $R_{12}$ ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт	Шумозащита, дБ	Стоимость $1 \text{ м}^2$ , у.е.
Наружная стена	более 2,5	60...70	20...35
Оконное заполнение	более 0,6 0,65...0,81	27 35	30...35 70...240

**Энергоэффективность заполнения оконных проемов зданий зависит от следующих факторов:**

- от конструктивного решения изделий, составляющих оконное заполнение;
- от материалов и деталей, используемых при изготовлении изделий (ПВХ, дерево, алюминий и др.);
- от качества установки изделий в проемы наружных стеновых конструкций.

### **3.1. Классификация окон**

Окна согласно СТБ 939-93 классифицируют по следующим основным признакам: назначению, конструкции, числу створок в одном ряду, направлениям открывания створок, способам открывания створок, устройствам для проветривания помещений, материалам заполнения светового проема створок, конструкции притвора створок, влагостойкости, виду отделки.

1. Окна *по назначению* подразделяют на изделия для жилых и общественных зданий; для производственных зданий и сооружений промышленных и сельскохозяйственных предприятий; для малоэтажных жилых домов (высотой не более двух этажей).

2. Окна *по конструкции* переплетов подразделяют на изделия:
- с *одинарной* конструкцией и *одним рядом остекления* или жалюзийным заполнением;
  - *одинарной* конструкцией и *двумя рядами остекления*;
  - *спаренной* конструкцией и *двумя рядами остекления*;
  - *спаренной* конструкцией и *тремя рядами остекления*;
  - *раздельной* конструкцией и *двумя рядами остекления*;
  - *раздельно-спаренной* конструкцией и *тремя и четырьмя рядами остекления*.

3. По *числу створок в одном ряду* окна подразделяют на одностворчатые, двухстворчатые и многостворчатые.

4. По *направлениям открывания створок* окна подразделяют:
- на открывающиеся *внутри* помещения;
  - открывающиеся *наружу*;
  - открывающиеся в *разные стороны*;
  - *неоткрывающиеся* (глухие).

Окна, открывающиеся наружу, следует применять только в однопэтажных зданиях и сооружениях промышленных предприятий, открывающиеся в разные стороны – только в малоэтажных жилых домах (высотой не более двух этажей).

5. По способу (типу) открывания створок окна подразделяют:

- на распашные с поворотом вокруг вертикальной крайней оси;
- подвесные с поворотом вокруг верхней крайней оси;
- откидные с поворотом вокруг нижней крайней оси;
- поворотнo-откидные с поворотом вокруг вертикальной и нижней крайней оси;
- вращающиеся с поворотом вокруг горизонтальной или вертикальной средней оси;
- раздвижные с перемещением створки в горизонтальном направлении;
- подъемные с перемещением створки в вертикальном направлении;
- глухие.

6. По устройствам для проветривания помещений окна подразделяют на изделия с форточками, форточными створками, клапанами, жалюзи, фрамугами, открывающимися створками.

7. По материалам заполнения светопрозрачной части окна подразделяют на остекляемые листовым стеклом, стеклопакетами, листовым стеклом и стеклопакетами; заполняемые шумозащитными материалами. Окна стальные заполняются также профильным стеклом.

8. По конструкции притвора створок окна подразделяют:

- на безимпостные со средним притвором в четверть;
- импостные с притвором к импосту.

9. По влагостойкости окна подразделяют на изделия:

- с повышенной влагостойкостью для установки снаружи зданий и внутри помещений с относительной влажностью воздуха более 60 %;
- нормальной влагостойкостью для установки в помещениях с относительной влажностью воздуха не более 60 %.

10. По виду отделки окна подразделяют на изделия:

- с непрозрачным отделочным покрытием эмалями и красками;
- прозрачным отделочным покрытием лаками.

11. Все окна по материалам, из которых изготовлены оконные профили, подразделяют на:

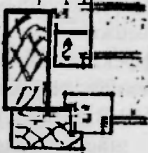
- а) на деревянные;
- б) пластмассовые из поливинилхлорида (ПВХ);
- в) металлические (алюминиевые, стальные);
- г) деревоалюминиевые – с внутренними деревянными и наружными алюминиевыми переплетами и деревянной коробкой, облицованной снаружи алюминиевыми профилями;
- д) стеклопластиковые.


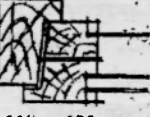
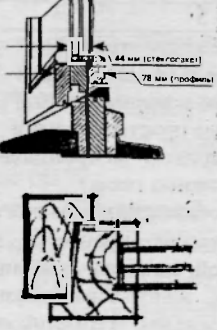
Стандартная конструкция *оконного блока* включает стационарную контурную обвязку – *коробку* (в ряде источников – *раму*), подвижно закрепленные на ней элементы – *переплеты* (в зарубежной технической документации – *створки*), а также элементы *остекления*, обычно в виде стеклопакета, и фурнитуру.

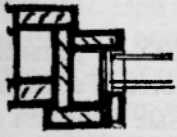
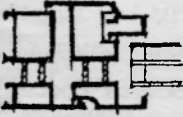
Сегодня в Республике Беларусь для оконных заполнений производятся изделия, основные конструктивные исполнения которых представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Краткая характеристика некоторых конструктивных исполнений окон

Вид сечения и ориентировочная стоимость, у.е./м <sup>2</sup>	Виды и описание конструкции окон	Характеристика
1	2	3
 <p>70 – 90</p>	<p>1. Деревянные, раздельно-спаренной конструкции, с тремя створками и тремя листовыми стеклами (средняя и внутренняя створки спаренные)</p> <p>2. Деревянные, раздельной конструкции, с двумя створками с</p>	<p>Обе конструкции базируются на массово изготавливаемой ранее конструкции окон с двойным остеклением (02Р) и являются наиболее простым решением перехода предприятий на производство энергоэффективных окон.</p> <p>При условии соблюдения полного цикла технологических процессов в работе с древесиной, включая ламинирование заготовок, использование уплотнительных прокладок, герметиков, запорной арматуры данные конструкции являются достаточно энергоэффективными при относительно низкой</p>

1	2	3
 <p>80 — 110</p>	<p>заполнением наружной створки листовым стеклом, а внутренней — однокамерным стеклопакетом</p> <p>Толщина коробки должна быть 100...140 мм</p>	<p>стоимости изделий. На базе этих изделий можно достигнуть показателей сопротивления теплопередаче, равных 0,8...1,0 (м<sup>2</sup> · °С)/Вт. Воздухопроницаемость окна уменьшается.</p> <p>Недостатки конструкции с двойной деревянной створкой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенная древесинемкость, особенно с исполнением 1</li> <li>- громоздкая конструкция с двойной рамой</li> <li>- большая номенклатура стекол и стеклопакетов и, следовательно, повышенный расход стекла</li> <li>- проблема установки современной фурнитуры, обеспечивающей режим проветривания</li> </ul>
 <p>110 — 170</p>	<p>3. Деревянные, с двумя спаренными створками, с заполнением наружной створки листовым стеклом, а внутренней — однокамерным стеклопакетом</p>	<p>Обладает такими же, как и в вышеизложенных конструкциях энергоэффективными качествами, но не содержит перечисленных недостатков. Деревянная рама не способна обеспечить плотное прилегание створки</p>
 <p>44 мм (стеклопакет) 78 мм (профиль)</p>	<p>4.1. Так называемые «евроокна», деревянные с одной створкой и заполнением створки 2 камерным стеклопакетом. Большая масса остекления</p>	<p>Наиболее рациональные с точки зрения расхода материалов конструкции. Обладают высокими архитектурными и технологическими возможностями. Достижение энергоэффективных параметров (с сопротивлением теплопередаче более 0,5 (м<sup>2</sup> · °С)/Вт) влечет за собой резкое увеличение стоимости изделий, связанное с затратами на приобретение энергоэффективного стекла для производства стеклопакетов, наполнение их газами повышенной плотности.</p>

1	2	3
   140 – 240	<p>4.2. Пластиковые, на основе ПВХ, современный 3, 4-камерный пластиковый профиль (воздушные зазоры), <math>R_T = 0,6 \dots 0,75</math> (<math>\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}</math>) (СТБ 1108. Окна из ПВХ)</p> <p>4.3. Алюминиевые, с одинарной створкой и заполнением створки 1- или 2-камерным стеклопакетом</p>	<p>Двухкамерный стеклопакет трудно установить. Резко увеличивается усилие от собственной массы на фурнитуру. Большая масса остекления</p> <p>В XXI веке – оптимальное решение – 4, 5- и 6-камерный профиль и стеклопакет 2-камерный.</p>

Примечание: Ориентировочная стоимость изделия показана на  $1 \text{ м}^2$  условного окна для того, чтобы сравнить влияние конструктивного решения на стоимость фурнитуры, различного вида стекол и т.д.

Применение того или иного конструктивного исполнения окон зависит:

- от проектного решения;
- архитектурно-градостроительной значимости здания;
- функционального назначения;
- экономических возможностей заказчика.

Однако во всех случаях теплотехнические требования, т.е. сопротивление теплопередаче применяемых современных окон, должно быть не ниже установленного в Республике Беларусь показателя:  $R_T > 0,6$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ). В зарубежных источниках рекламной информации, как правило, фигурирует величина коэффициента теплопередачи (или термического пропускания, или тепловая проводимость), т.е. величина обратная  $R_T$ , размерность которой соответственно  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ :

$$K = \frac{\lambda}{\delta}$$

Не менее важно при выборе новых окон знать их производителя. Как утверждают эксперты ведущих «оконных фирм», наиболее подходящими для Республики Беларусь и России являются оконные профили, изготовленные в Германии.

Родиной современных окон с переплетами из ПВХ (в дальнейшем – окон из ПВХ), по общему признанию, является, Германия. Именно здесь в 1954 году фирмой «Троса I» оконные профили из ПВХ были впервые запущены в серийное производство. На сегодняшний день по разнообразию оконных профилей оконные ПВХ-системы являются наиболее гибкими и технологичными. Относительно низкая стоимость сырья и производства, наряду с хорошими физическими характеристиками (низкая теплопроводность, достаточно высокая химическая стойкость), сделали их самыми массовыми в Центральной Европе.

Вместе с тем эксплуатация окон из ПВХ в странах с суровым континентальным климатом, к числу которых относятся Россия и частично Беларусь, связана с определенными техническими ограничениями, обусловленными специфическими свойствами ПВХ.

По своему химическому составу ПВХ относится к группе термопластов, для которых характерно быстрое снижение механических свойств при повышении температуры, обусловленное линейным строением молекул полимера и их малой связью друг с другом, снижающейся при нагревании. Такое строение обуславливает сильную зависимость свойств ПВХ от температуры.

В настоящее время большинство профилей поставляется на наши рынки из Германии. Все эти профили выполнены из разновидностей ПВХ марки PVC-U в соответствии с немецкими стандартами DIN. Базовые испытания для ПВХ немецкого производства проводятся при температуре +20 °С. При понижении температуры его ударная вязкость падает (увеличивается хрупкость), относительное удлинение при разрыве уменьшается, а прочность на сжатие и изгиб повышается. С повышением температуры относительное удлинение при разрыве увеличивается, прочность на сжатие и изгиб падает. В зоне температур от +10 до +40 °С механические характеристики уменьшаются очень незначительно, и в большинстве случаев этими изменениями можно пренебречь.

При использовании ПВХ в интервале температур от +40 °С до +60 °С действующие на него силовые нагрузки должны быть снижены. При температуре выше +60 °С нагруженный ПВХ может находиться лишь очень небольшое время. Точка размягчения находится вблизи температуры +80 °С.

В зоне отрицательных температур может использоваться только так называемый *модифицированный ПВХ*, содержащий специальные добавки, увеличивающие его ударную вязкость при температурах ниже 0 °С. Такой ПВХ способен хорошо воспринимать динамические нагрузки при температуре не ниже -40 °С. ПВХ имеет очень высокий коэффициент температурного расширения, равный  $80 \cdot 10^{-6}$  (1/°С). Для сравнения: для стали и бетона эта величина составляет порядка  $10 \cdot 10^{-6}$  (1/°С), а для стекла  $8,5 \cdot 10^{-6}$  (1/°С). Таким образом, ПВХ имеет коэффициент в 10 раз больший по сравнению со стеклом. Такое соотношение величин приводит к тому, что температурные деформации, а соответственно и напряжения в профиле и остеклении, резко отличаются по величине. Окна разуплотняются, при этом в профилях начинают накапливаться остаточные деформации. Особенно болезненно на температурные воздействия реагируют цветные (не белые) профили, обладающие более низкими прочностными характеристиками и способные хорошо поглощать тепло.

До недавнего времени (до 90-х годов XX века) для уменьшения теплопотерь использовались традиционные системы остекления с применением двух- и трехстекольных конструкций с большими воздушными промежутками. В настоящее время неотъемлемой составной частью окон стал стеклопакет.

### 3.2. Современные стеклопакеты строительного назначения

Современное окно – это не только коробка, створка и фурнитура, но и *стеклопакет* (рис. 3.1).

Стеклопакеты предназначены для остекления светопрозрачных конструкций (оконных и дверных блоков, витрин, перегородок, зенитных фонарей).



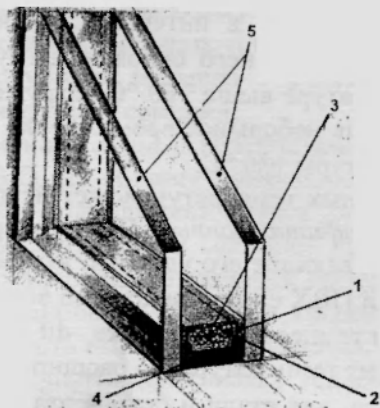


Рис. 3.1. Типичная конструкция стеклопакета (ГОСТ 24866-99):  
 1 – бутиловая лента; 2 – дистанционная рамка; 3 – молекулярное сито  
 (осушитель); 4 – двухкомпонентный полисульфид БДНБ (тиокол);  
 5 – полированное стекло

Благодаря высоким тепло- и звукоизоляционным свойствам стеклопакеты получили широкое применение в качестве важного строительного элемента, их производство стало развиваться еще в 30-е годы XX века. Решающую роль сыграл тот факт, что сухой воздух является хорошим теплоизолятором: его теплопроводность практически в 27 раз ниже, чем стекла. Потери тепла в стеклопакете из двух прозрачных стекол распределены следующим образом: около 2/3 потерь происходит за счет излучения и посредством теплоотдачи и конвекции вместе взятых.

Благодаря герметичности в промежуток между стеклами не попадают влага и пыль, не ухудшается освещенность помещений.

**Сущность стеклопакета (СП).** СП – объемное изделие, состоящее из двух, трех или более листов светопропускающего стекла, герметично соединенных между собой по контуру (периметру) с помощью дистанционных рамок, содержащих осушитель (молекулярное сито), и изолирующих герметиков (клеев) и образующих герметически замкнутые камеры (полости), заполненные воздухом или другим газом и имеющие иногда внутренние декоративные переплеты с расстоянием между стеклами  $h_c$  от 9 до 36 мм.

Основные системы СП, применяемые до настоящего времени, показаны на рис. 3.2.

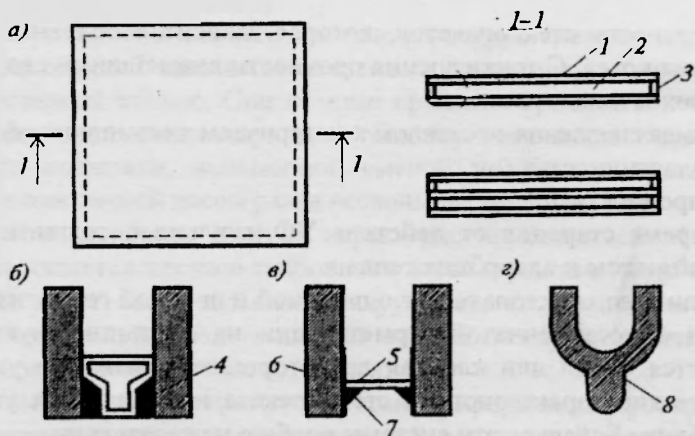


Рис. 3.2. Общий вид двухслойных и трехслойных стеклопакетов (а).  
 Конструктивное решение узлов стеклопакетов – клеевых (б), паяных (в) и сварных (г):  
 1 – стекло; 2 – воздушная (газовая) прослойка; 3 – распорная рамка;  
 4 – клеящий и герметизирующий слой; 5 – полоса из свинцового сплава;  
 6 – металлизированный слой на стекле; 7 – место пайки; 8 – узел сварки стекол

Были разработаны три основные конструктивные системы соединения стекол в стеклопакетах, базирующиеся на способе их соединения (изготовления): плавные, паяные и клеенные (см. рис. 3.2). Уже в 60-х годах XX столетия было выяснено, что наиболее предпочтительной по технико-экономическим показателям является та система, в которой стекла склеиваются между собой. Сейчас более 90 % изготавливаемых окон изготавливаются только третьим способом (склеиванием).

### 3.3. Современные герметики для стеклопакетов

Массовое внедрение стеклопакетов взамен обычного двух- и трех-слойного остекления относится к 70-м годам XX века, когда были разработаны герметизирующие составы на основе бутилкаучуков.

Задачами первостепенной важности, которые стоят перед герметиками, применяемыми для заделки швов в стеклопакетах являются:

1) во-первых обеспечение прочности стеклопакетов и, во-вторых, препятствование проникновению водяного пара в межстекольное пространство, что непосредственно влияет на

долговечность стеклопакетов, которая зависит в основном от уплотнения краев. С точки зрения прочности важнейшими свойствами герметиков являются:

- сила сцепления со стеклом и материалом дистанционной рамки;
- эластичность;
- прочность;
- время старения от действия УФ-излучения, толщина уплотняющей массы и адсорбция тепла.

Различают стеклопакеты с одинарной и двойной герметизацией.

При одноступенчатой герметизации на дистанционную рамку наносится бутил или клейкая двухсторонняя лента, что ухудшает технические характеристики стеклопакета, и в погодных условиях Республики Беларусь эти системы вообще нежелательны.

Наиболее совершенные и качественные стеклопакеты изготавливаются по принципу двойной (двухстадийной) герметизации. В качестве первичного герметика прежде всего применяется бутил (полиизобутилен), который обладает наилучшей относительной способностью сопротивляться проникновению водяного пара. Бутиловая масса наносится экструдером при температуре чуть больше ста градусов в виде тонкой ленты на обе стороны дистанционной рамки. Когда стекла сдавливают, между стеклами и рамкой остается разделяющий их бутиловый слой толщиной в несколько десятых долей миллиметра. Хорошая диффузионная плотность достигается благодаря тонкости ленты и плохой газопроницаемости массы (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Технология склеивания стеклопакетов

Первичный герметик не может обеспечить требуемую прочность кромочного соединения, эту задачу должны решать продукты, применяющиеся для вторичной герметизации с наружной стороны (по торцам) стеклопакета. Чаще всего это полисульфид (тиокол), но

также могут применяться силиконовые и полиуретановые массы. Полисульфид хорошо сцепляется со стеклом, алюминием, оцинкованной и нержавеющей сталью. Они помимо придания прочности конструкции придают дополнительную диффузионную плотность и дают возможность подвижки, вызываемой сменой температур и давления. Толщина эластичной массы равна нескольким миллиметрам.

Одной из наиболее важных характеристик качественного стеклопакета является жесткое требование к его герметичности.

Стеклопакет часто называют вакуумным, что не совсем точно. Если действительно создать полный вакуум между стеклами, то атмосферное давление тут же их раздавит.

На самом деле в замкнутом герметизированном пространстве между стеклами находится разреженный осушенный воздух.

Для заполнения межстекольного пространства в стеклопакетах вместо воздуха часто используют специальные инертные газы или смеси газов, что существенно улучшает тепло- и звукоизолирующие свойства стеклопакетов. В том случае, если межстекольное пространство стеклопакета заполняется более плотным по сравнению с воздухом газом, потери тепла, происходящие за счет конвекции и теплоотдачи внутри стеклопакета, снижаются. Теплопроводность, плотность, динамическая вязкость, собственная теплоемкость газов оказывают влияние на теплопроводность межстекольного пространства.

Наиболее часто для заполнения межстекольного пространства применяются аргон (Ar), криптон (Kr) и шестифтористая сера (SF<sub>6</sub>). Это газы, полученные отделением от сжиженного атмосферного воздуха. Криптон – реже встречающийся и значительно более дорогой по сравнению с аргоном инертный газ, но он в большей степени, чем аргон, повышает теплоизолирующую способность стеклопакета. Гексафторид серы (SF<sub>6</sub>) улучшает звукоизоляцию.

Но следует помнить, что воздух, так же как и газовые смеси, которыми заполнены стеклопакеты, может сохранять свои функции лишь до тех пор, пока в межстекольное пространство не попадает такое количество влаги, которое могло бы существенно повлиять на теплопроводность.

Между стеклами имеется зазор  $h_c$  величиной от 9 до 36 мм и более.

### 3.4. Дистанционные рамки

В качестве материала для дистанционных рамок коробчатого сечения, обеспечивающих требуемое между стеклами расстояние, применяются, как правило, тонкостенные алюминий, оцинкованная сталь или пластмасса. Дистанционная рамка выполняется полой внутри со специальными диффузионными отверстиями (дырами, перфорацией, щелями). Внутри находится осушитель (силикагель), функция которого – способствовать быстрой абсорбции (впитывание самых незначительных количеств воды в межстекольном пространстве). Тем самым предотвращается выпадение влаги внутри стеклопакетов в холодное время года. Диффузионные отверстия не должны быть слишком большими, иначе при механических нагрузках (при перевозке стеклопакетов или эксплуатации окон) частички осушителя могут попасть в виде зерен в зону межстекольного пространства. Особое внимание уделяется свойствам тех поверхностей рамок, которые образуют соединение с герметиками.

Материал, из которого сделан средник, оказывает большое влияние на теплоизолирующие свойства краев стеклопакета.

Металлическая дистанционная рамка является хорошим проводником тепла, и в конструкции стеклопакета возникает так называемый «мостик холода». Решить эту проблему может применение дистанционных рамок из упругого термопластичного материала. Существуют системы, в которых необходимый зазор между стеклами создается термопластом, который наносится на стекло через экструдер. В состав термопласта входят необходимые осушители. Этот метод известен как TPS (Thermo Plastik Spacer) – метод, в котором металлическая рамка средника изолирующего стеклопакета заменена однородным термически формуемым распорным материалом, образующим промежуточное пространство. В результате повышается температура поверхности краев стекла, что приводит к значительному уменьшению возможности образования конденсата на краевых поверхностях стеклопакета (рис. 3.4).

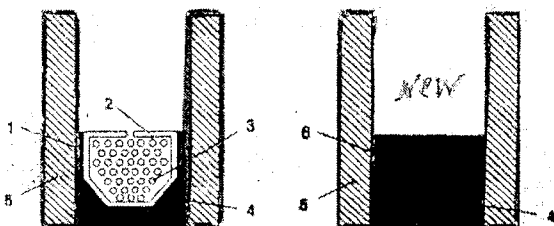


Рис. 3.4. Принципиальная схема конструкции СП. Традиционный изолирующий стеклопакет слева. TPS-изолирующий стеклопакет справа:

1 – внутренний шов; 2 – средник; 3 – осушитель; 4 – наружный шов; 5 – стекло; 6 – уплотняющая бутиловая масса, содержащая осушитель

Стеклопакет, изготовленный с использованием TPS-метода, обладает рядом преимуществ, главным из которых является то, что бутиловый средник, содержащий в себе осушитель, изготавливается термическим формованием в одну стадию, интегрированную в общую линию по производству изолирующего стеклопакета. Это существенно отличает его от традиционного метода, при котором изготовление средника с алюминиевым профилем требует многих технологических операций (нарезка металлического профиля в соответствии с наружными размерами, изготовление рамок, заполнение рамок адсорбентом – силикагелем, соединение концов рамки уголками, нанесение первичного бутила) с использованием нескольких устройств или, как это в большинстве случаев принято у нас, вручную. Естественно, что одностадийный метод изготовления стеклопакетов резко повышает качество изделия. Кроме этого, отсутствие необходимости выполнения вышеуказанных операций при новом методе позволяет сократить производственные площади предприятия до 10 %.

В западных странах TPS-метод изготовления изолирующих стеклопакетов считают технологией будущего, которая открывает новые возможности для создания любых оконных конструкций. К тому же снижение риска получения плохого качества и эффективный производственный метод создают условия для конкурентоспособной стоимости.

Среди новых методов производства стеклопакетов известен метод, когда промежуточное пространство (средник) заполняется при помощи бутиловой резиновой ленты, упрочненной металлом.

### 3.5. Осушители (влагопоглотители)

Принцип действия осушителей заключается в следующем: частицы осушителя имеют множество пор. Так как диаметр пор больше, чем диаметр атомов или молекул газа, то газы диффундируют в эти поры и адсорбируются. Применяют технический силикагель  $\text{SiO}_2$  или синтетический гранулированный без связующих веществ цеолит (молекулярное сито). Это пористый алюмосиликатный кристалл.

По *химическому строению* осушители также имеют различную адсорбционную способность.

Эти различия проявляются в зависимости от температуры, давления и содержания влаги в осушаемых газах.

Используя наиболее употребительные типы молекулярных сит, можно получить очень низкие температуры точки росы (большей частью  $-60$  °С). Использование силикагеля не дает таких низких значений температуры точки росы, в среднем около  $-45$  °С. За исключением некоторых особых областей применения, эти различия в температуре точки росы не являются решающими для оценки качества осушителей, т.к. задачей осушителей является прежде всего поглощение влаги, попадающей в межстекольное пространство в ходе производства стеклопакетов.

В зависимости от количества камер стеклопакеты (СП) подразделяются на следующие типы (рис. 3.5):

СПО – однокамерный,

СПД – двухкамерный.

СП может быть из четырех и более плоских листов стекла, иметь декоративный переплет внутри при ширине дистанционной рамки не менее 12 мм.

Размер СП не должен быть более 3,2 x 3,0 м, минимальный размер 300 x 300 мм.

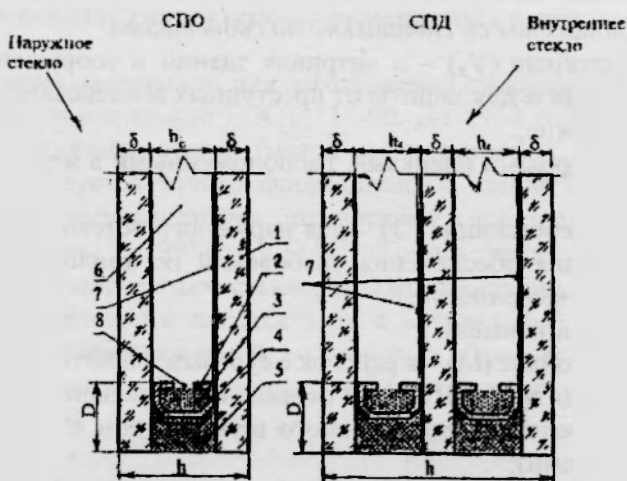


Рис. 3.5. Типы и конструкции стеклопакетов (ГОСТ 24866-99):

- 1 – стекло; 2 – дистанционная рамка; 3 – влагопоглотитель; 4 – нетвердеющий герметик; 5 – отверждающий эластомер; б – воздушная прослойка;  
 7 – рекомендуемые варианты расположения низкоэмиссионного покрытия в случае его применения; 8 – дегидратационные отверстия;  $\delta$  – толщина стекла;  
 $h$  – толщина стеклопакета;  $h_c$  – расстояние между стеклами;  
 $D$  – глубина герметизирующего слоя

#### Условное обозначение стеклопакетов

СПО 4 М<sub>1</sub> – 16 Ar – 4 М<sub>1</sub> – 1500 x 800 x 24 – ГОСТ 24866-99,  
 где 4 М<sub>1</sub> – толщина и марка стекла; 16 – расстояние между стеклами; заполнение – Ar; 24 – толщина стеклопакета, мм.

СПД 4 М<sub>1</sub> – 12В – 4 М<sub>1</sub> – 12В – 4М<sub>1</sub> – 1500 x 800 x 36 – ГОСТ 24866-99.

Сокращенный вариант обозначения:

4/12/4/12/4 или

4-10-4-10-4      $\Sigma 32$  мм

4-16-4             $\Sigma 24$  мм

4-16-4k – с энергосберегающим стеклом.

Стеклопакеты в зависимости от назначения подразделяются на следующие виды:

- *стеклопакеты общестроительного назначения* (Ос) – для применения внутри зданий и сооружений и для наружных ограждений без специальных требований (до  $-45$  °С);



- *стеклопакеты со специальными свойствами:*
  - ударостойкие ( $У_d$ ) – в витринах зданий и сооружений, в зенитных фонарях и для защиты от преступных воздействий;
  - пулестойкие;
  - с полимерными пленками, расположенными в межстекольном пространстве;
  - энергосберегающие ( $\mathcal{E}$ ) – для наружного остекления зданий и сооружений, для обеспечения требований по тепловой защите и нормальной освещенности;
  - солнцезащитные ( $\mathcal{C}$ );
  - морозостойкие ( $\mathcal{M}$ ) – в районах с суровым климатом, до  $-60\text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - шумозащитные ( $\mathcal{Ш}$ ) – для остекления помещений, эксплуатирующихся в условиях повышенного шума (рядом с автомагистралью, аэропортами);
  - огнестойкие;
  - с криволинейными поверхностями;
  - стеклопакеты для транспорта.

#### ***Основные функции стеклопакетов:***

- теплоизоляция (теплосбережение);
- звукоизоляция (шумозащита) – 29...32 дБ;
- защита от солнечной радиации;
- защита от УФ-излучения;
- защита от взлома (от несанкционированного и нежелательного проникновения);
- осветительная функция (светопропускание в зависимости от применяемого вида стекла меняется в больших пределах – от 30 до 80 %);
- стойкость к ветровой нагрузке;
- огнестойкость (изоляция от пожара);
- безопасность в эксплуатации (защита от травматизма осколками разбитого стекла).

В настоящее время в странах Западной Европы оконные ограждения без применения стеклопакетов практически не встречаются. Объясняется это жесткими требованиями к теплосбережению и шумозащите.

Применение стеклопакетов упрощает конструкцию оконных проемов, увеличивает световую площадь и снижает теплопотери.

### 3.6. Основные типы стекол, применяемых в стеклопакетах

Основным материалом для изготовления стеклопакетов является оконное листовое стекло ГОСТ 111-90. До 1960 года применялось обычное машинное стекло (метод вытягивания). С начала 1960-х годов используется только флоатационное стекло (флоат-стекло), обладающее превосходными оптическими свойствами. Его производство освоено в 1997 году ОАО «Гомельстекло». Это листовое термически полированное стекло, высококачественное прозрачное с плоскопараллельными плоскостями, с натуральной глянцевой поверхностью и неискажаемой видимостью. Производится методом плавающей ленты (*Float-process*) на поверхности расплавленного олова (рис. 3.6).

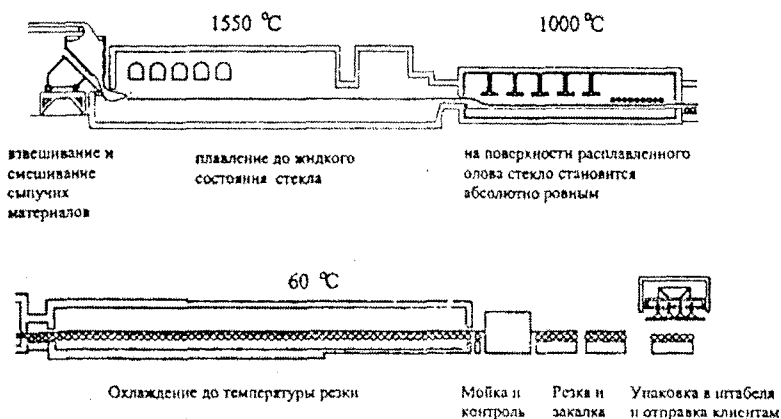


Рис. 3.6. Производство флоат-стекла

Толщина стекла, мм: 2,5; 3; 4; 5; 6; 6,5, плотность, кг/м<sup>3</sup>: 2491,4, масса 1 м<sup>2</sup> стекла (толщиной 1 мм), кг, – 2,5, пропускание света (листовое стекло толщиной 4 мм), %, – 89,4.

Разработаны также стекла, ограничивающие поступление тепловых лучей в помещении.

## Типы и виды стекол для стеклопакетов

Виды стекол, применяемых при изготовлении стеклопакетов	Обозначение ТНПА на применяемое стекло	Обозначение стекла (марки) и применение
1	2	3
Листовое (полированное) толщиной не менее 3 мм	ГОСТ 111	М <sub>1</sub> , М <sub>2</sub> , М <sub>3</sub> , М <sub>4</sub> , М <sub>7</sub> фасад, фонарь; двери внутренние
Узорчатое – прозрачное – цветное	ГОСТ 5533	У фасад, двери наружные, внутренние
Армированное	ГОСТ 7481	А <sub>p</sub>
Армированное полированное	ТНПА	А <sub>n</sub> двери внутренние и наружные
Высокопрочное многослойное: - безопасное к воздействию человека (антибандит, антивандал) - ударостойкое (противоударное) РА, 3 удара шаром - (устойчивое к пробиванию) противозломное РВ, 30-50 ударов топора - пулестойкое П <sub>мс</sub>	ГОСТ 30816-2001	Класс защиты от пробивания Р1А, Р2А, Р3А, Р5А. Класс защиты от проникновения Р6В, Р7В, Р8В. Класс защиты П <sub>мс1</sub> - П <sub>мс6а</sub>
- безопасное при эксплуатации в строительстве	ТНПА	СМ1, СМ2, СМ3, СТ4
Окрашенное в массу	ТНПА	Т <sub>c</sub> – фасад, фонарь, двери внутренние и наружные, баня
Упрочненное: - химические упрочненное - закаленное	ТНПА ГОСТ 30698	Х З – фасад, фонарь; двери внутренние и наружные, баня, наружные двери, для мебели, для газовых плит, полка для бытовых холодильников
- солнцезащитное	НД	С
Энергосберегающее: • с твердым покрытием внутри стеклопакета • с мягким покрытием (не стойким к внешним воздействиям)	ГОСТ 30773 ТНПА	К-стекло i-стекло, покрытие наносится напылением

Для производства стеклопакетов можно использовать почти все типы стекол. Выбор стекол зависит от требований, предъявляемых к конкретному окну. Очень важно также правильно определить местоположение и ориентацию стекла со специальными свойствами в стеклопакете. Например, в случае использования селективных стекол поверхность с нанесенным покрытием, как правило, находится внутри стеклопакета.

Солнцезащитные стекла рекомендуется устанавливать в качестве внешних.

В настоящее время возможен аналитический расчет той или иной конструкции, и поэтому вопрос о типе устанавливаемого стеклопакета желательно решать совместно с фирмами, специализирующимися на изготовлении стеклопакетов. Дешевый стеклопакет для нового окна может оказаться дорогой неприятностью (запотевание внутри и снаружи стеклопакета, промерзание, эффект сквозняка даже при плотно закрытых дверях).

Каждый конкретный тип стекла должен выполнять вполне определенную функцию. Можно выделить **пять основных функций стекла**:

- теплоизоляция зимой;
- теплоизоляция летом;
- звукоизоляция;
- защитные функции;
- эстетические функции.

Для обеспечения этих функций разработаны различные типы стекол. Рассмотрим их подробнее.

### ***3.6.1. Низкоэмиссионные стекла – стекла с селективным покрытием***

В 80-е годы XX века массово внедрялись специальные, так называемые *селективные* стекла. Ведущие мировые корпорации «Saint Gobain» и «Pilkington» в настоящее время выпускают стекла с покрытиями, обеспечивающими отражение части инфракрасных лучей обратно в помещение, что позволяет сберечь до 30 % тепла. Это могут быть стекла марок «EcoPlus» и так называемое «К-стекло» или «i-стекло».

Теплоизоляция в зимний период является наиболее важной функцией стекол для энергоэффективных зданий. Потери тепла через стекло складываются из теплопроводности, конвекции и теплового излучения.

Для уменьшения потерь тепла от теплопроводности и конвекции применяют двойное остекление (стеклопакеты), но это дает лишь незначительный эффект, т.к. основная доля теплопотерь происходит за счет теплового излучения. Для уменьшения этого вида излучения разработаны так называемые энергосберегающие стекла.

В настоящее время проблема энергосбережения стоит чрезвычайно остро во всем мире, поэтому все крупнейшие производители стекла, такие как Главербел, Пилкингтон, Сен Гобен, ППГ, Шотт, Интерпейн и другие, освоили выпуск энергосберегающих стекол.

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

Характеристикой энергосбережения является излучательная способность стекла. Под *излучательной способностью* (эмиссией) стекла понимают способность стеклянной поверхности отражать длинноволновое невидимое человеческим глазом тепловое излучение, длина волны которого меньше  $16000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Эмисситент поверхности ( $E$ ) определяет излучательную способность стекла (у обычного стекла  $E$  превышает  $0,83$ , а излучательная способность селективных стекол меньше  $0,04$ ) и, следовательно, способность «отражать» тепловое излучение обратно в помещение.

Причина возникновения излучения кроется в движении свободных электронов атомов, находящихся на поверхности стекла, и плотности движущихся электронов. Далеко не все металлы, хорошо проводящие ток, обладают свойством отражать ДВ тепловое излучение.

Следовательно, чем ниже эмисситент поверхности, тем меньше потери тепла. При этом стекло с оптическим покрытием имеет значение эмисситента  $E = 0,04$  и отражает обратно в помещение свыше  $90 \%$  тепловой энергии, уходящей через обычное окно.

В настоящее время для этих целей используются два типа покрытий: так называемое К-стекло (Low-E) – «твердое покрытие» и *i*-стекло (Double Low-E) – «мягкое» покрытие.

Первым шагом в выпуске энергосберегающего стекла явилось производство К-стекла. Для придания флоат-стеклу теплосберегающих свойств непосредственно при его изготовлении (метод *on-line*) на его поверхности методом химической реакции при высокой температуре (метод пиролиза) создается тонкий слой из оксидов благородных металлов  $Al_2O_3$  и  $SnO_2$ , который является прозрачным и невидимым и в то же время обладает электропроводностью. Известно, что электропроводность напрямую связана с излучательной способностью  $E$  поверхности. Величина излучательной способности у К-стекла около 0,2 (ГОСТ 30733-2000).

Следующим значительным шагом в производстве теплосберегающих стекол стал выпуск *i*-стекла, которое по своим теплосберегающим свойствам в 1,5 раза превосходит К-стекло. Различие между К- и *i*-стеклом заключается в коэффициенте излучательной способности, а также технологии его получения.

*i*-стекло производится вакуумным напылением (метод *off-line*) и представляет собой трехслойную (или более) структуру из чередующихся слоев серебра, диэлектрика. Технология, т.е. метод нанесения, требует использования высоковакуумного оборудования с системой магнетронного распыления.

Композиционная пленка – это прозрачная пленка из металлов и их оксидов (рис. 7.6), нанесенная на поверхность стекла магнетронным способом, отражающая 80...90 % тепловой энергии, излучаемой внутренними стенами помещения и мебелью и при использовании обычного оконного стекла уходящая через окно на улицу.

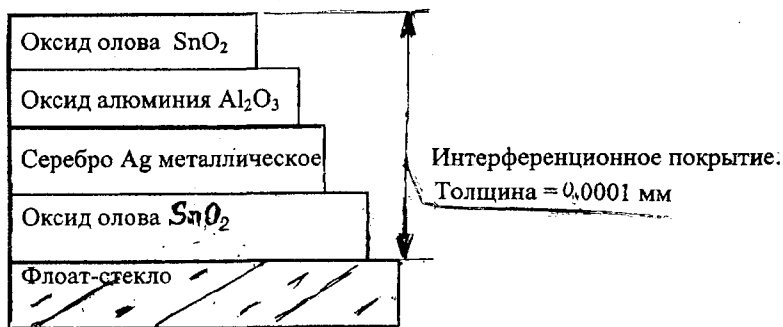


Рис. 3.7. Схема селективного покрытия *i*-стекла

**Низкоэмиссионное стекло** – это высококачественное флоат-стекло с многослойным покрытием (пленка металлического серебра, размещенная между слоями оксидов металлов). Оно значительно снижает теплопотери через окна в зимнее и приток солнечной энергии в помещение в летнее время.

Основным недостатком i-стекол является их сравнительно пониженная абразивная стойкость по сравнению с К-стеклом, что вызывает некоторые неудобства при их транспортировке, но потому, что такое покрытие находится внутри стеклопакета, это не сказывается на его эксплуатационных свойствах.

Необходимо также обратить внимание, что при работе с К- и i-стеклом существует необходимость зачистки (снятия) покрытия в месте контакта дистанционной рамки к стеклу.

Основным применением энергосберегающих стекол является их использование в составе стеклопакетов, теплосберегающие свойства которых во многом определяются параметрами покрытия на стекле.

В табл. 3.4 и 3.5 приведены данные для наиболее широко распространенных типов стеклопакетов.

Таблица 3.4

Сравнительные характеристики стеклопакетов в зависимости от типа низкоэмиссионных стекол различных фирм (стеклопакеты 4-16-4 с межстекольным заполнением аргоном)

Фирма-изготовитель стекла	Применяемое теплосберегающее стекло	Светопропускание стеклопакета, %	Отражение стеклопакета, %	Теплопередача (теплопроницаемость) стеклопакета К, Вт/(м <sup>2</sup> К)
1	2	3	4	5
К-стекло	Float - float	87	10	2,8
Sanko	Sanko Select	72	11	1,7
Saint Gobein	Ecoplus	69	18	1,9
Isolar	Neutralux	76	-	1,8
Lux Guard	4-12-4 Low-E = 2	76	10	1,7
PPG	Diatherm	79	11	1,8
Gloverbei	Planibei	-	-	1,7
FlashGlas Ag	K-Glas <sup>R</sup>	76	19	1,9
<b>i-стекло</b>				
Isolar glas	Neutralux	76	-	1,1

1	2	3	4	5
Interpane	Iplus Neutral R	76	-	1,1
Lux Guard	Super natural	76	12	1,2
Vegla	Climaplus <sup>R</sup>	72	11	1,2
Sanko	Sanko Select	72	11	1,0

Из этой таблицы наглядно видно, что теплоизоляционные характеристики у i-стекла значительно выше, чем у К-стекла. Цены в настоящее время приблизительно одинаковы. Именно поэтому большинство производителей окон в мире на сегодняшний день применяют стеклопакеты с i-стеклом, и доля их применения на рынке постоянно растет. Сложности с транспортировкой и работой с i-стеклами, связанные с конструктивными особенностями, привели к тому, что в мире производством стеклопакетов с i-стеклами занимаются, как правило, только крупные, специализированные фирмы.

Таблица 3.5

**Сравнительные характеристики стеклопакетов  
в зависимости от типа стекол**

Тип стекла	Структура стеклопакета	Воздушный зазор, мм	Свето-пропускаемость, %	Общая энергопропускаемость, %	Теплопроницаемость К, Вт/(м·К)	$R_T$
Обычное	С двумя стеклами	12	79	79	3,0	0,33
Энергоглас-N	С двумя стеклами (однокамерный стеклопакет)	12	79	66	1,5	0,67
Селективное стекло	С двумя стеклами	15	79	67	1,3	0,76
	С тремя стеклами (двухкамерный)	2 x 12	72	61	1,2	
Энергоглас	С тремя стеклами	2 x 12	72	74	2,0	0,5
Стекло с металлическим покрытием	Одно стекло	-	75	-		

Покрытие защищается от коррозии путем размещения его в полости между стеклами, которая, как правило, заполняется аргоном.



Нанесение специального покрытия помогает решению проблемы энергосбережения (рис. 3.8).

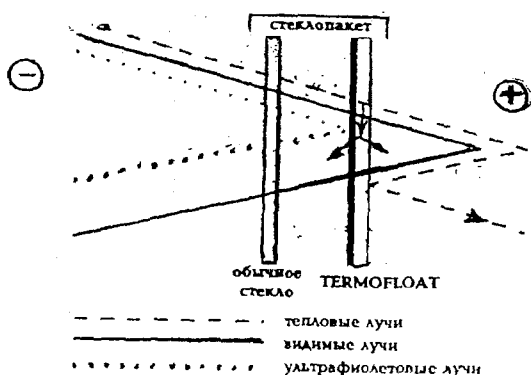


Рис. 3.8. Схема окна с теплозащитным покрытием

Стекло Thermofloat является обычным стеклом Float, покрытым тончайшими слоями оксидов металлов, и работает как «тепловое зеркало»:

- в холодное время года тепло, вырабатываемое обогревающими устройствами и осветительными приборами, сохраняется внутри помещения и совсем незначительная часть тепловой энергии, получаемой в результате действия отопительных систем и т.д., «теряется» сквозь оконное заполнение;

- в жаркую погоду в помещении сохраняется умеренная температура; стекло не пропускает тепло снаружи внутрь помещения.

Из дыры, сквозь которую уходит тепло, окно превращается в элемент, притягивающий тепловую энергию в виде солнечных лучей.

В итоге теплопотери практически полностью восполняются за счет «бесплатной» солнечной энергии, воспринимаемой окнами.

Примечательно, что эти качества никак не влияют на светопропускаемость стекла.

### Преимущества такого стекла:

- стеклопакет с одним из стекол Thermofloat уменьшает суммарный коэффициент  $K$  теплопередачи до  $1,8...1,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , т.е.  $R_T$  увеличивается до  $0,53 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ ;

- в помещении задерживает на 66 % больше тепла, чем обычное одинарное стекло;
- в помещении задерживает на 36 % больше тепла, чем обычное двойное остекление;
- возможно создание различных вариантов стеклопакетов (противоударные, цветные и т.д.);
- обладая таким же эффектом, как тройное остекление, имеет массу на 30 % меньшую, чем обычное стекло;
- можно увеличить  $R_T$ , т.е. уменьшить коэффициент  $K$  до 1,25...1,6 Вт/(м<sup>2</sup> · К), заполняя стеклопакет инертным газом;
- имеет размеры 2140 x 2950 мм с толщиной стекол 4 и 6 мм.

### **Селективное стекло обладает следующими преимуществами:**

- *отсутствие так называемого чувства тяги у окна.* Поскольку температура на поверхности стекла существенно поднимается даже при сильном морозе, холодного опускающегося вниз столба воздуха не образуется;
- *значительное сокращение потребления энергии.* Селективное стекло улучшает теплоизолирующие свойства стеклопакета;
- *селективное стекло способствует охране окружающей среды,* так как уменьшается потребность в отоплении, сокращается расход сжигаемого топлива, что благоприятно воздействует на окружающую среду;
- *селективное стекло нейтрально для цветопередачи.* Естественные цвета сохраняются, и окно не искажает вид предметов;
- хорошая светопропускаемость – 80 %. Эта характеристика стекла соответствует прозрачному стеклу.

Стеклопакет с энергосберегающим стеклом пропускает 21...33 % тепла, если принять пропускающую способность обычного стекла за 100 %. Кроме того, такое стекло на 25 % уменьшает вредное ультрафиолетовое излучение.

**Солнцезащитное стекло** – стекло, уменьшающее пропускание солнечной радиации во всем спектре.

Под *солнцезащитным стеклом* понимается стекло, которое обладает способностью снижать пропускание световой солнечной тепловой энергии. *Солнцезащитными являются, например, стекла, окрашенные по всей их массе, а также некоторые виды стекол с покрытиями.*

До недавнего времени значения пропускания полного излучения и естественного света через стекло во внутреннее помещение были почти прямо пропорциональны друг другу. Величина пропускания естественного света солнцезащитными стеклами снижалась при уменьшении величины проникания излучения в целом. Темный цвет солнцезащитных стекол означал, что они эффективно защищают от солнечного излучения. Только стекла зеленого цвета были исключением из правила.

По механизму действия солнцезащитные стекла можно разделить на 2 группы: 1 – преимущественно *отражающие излучение* и 2 – преимущественно *поглощающие излучение*. Для поверхности стекол первой группы характерен тонкий металлический слой, наносимый в процессе производства, который препятствует проникновению излучения через стекло. Следует отметить, что отражающие слои одновременно частично поглощают излучение.

На толщину солнцезащитных стекол с отражающей поверхностью важно обращать пристальное внимание также по причинам эстетического характера.

При изготовлении *поглощающих (абсорбирующих)* стекол на расплавленную стекольную массу наносятся либо кристаллы металлов, либо *оксиды металлов*, которые обладают способностью поглощать часть солнечного теплового излучения (энергии и света). В процессе поглощения излучения стекла нагреваются и большую часть полученного ими тепла отдают в наружное пространство. Часть тепла, однако, передается внутрь помещения, что является нежелательным явлением, т.к. увеличивается потребность энергии на охлаждение помещения. Поглощающие стекла применяются при изготовлении фасадов из стекла, перегородок окон и дверей.

Конструкции, сочетающие в себе отражающие покрытия и покрытия с низкой излучательной способностью, являются новым изданием, появившимся в продаже. Полностью отражающие поверхности прозрачных стекол получают путем последовательного нанесения покрытия на поверхность стекла. Как правило, количество покрывающих слоев – пять, из которых четыре – это слои оксидов металлов и работающий слой – серебряный. *Серебро обладает способностью пропускать видимый свет*, как и обычное стекло. В случае когда длина волны больше 0,76 мкм, серебро почти полностью отражает все излучение. Кроме того, такие стекла обладают и хорошей теплоизолирующей способностью.

### 3.6.2. Закаленное стекло

На сегодняшний день во многих странах остекление окон верхних этажей зданий, а также балконов и лоджий разрешается производить *безопасным* при эксплуатации стеклом во избежание травмирования людей крупными осколками стекла, выпадающими при его разрушении.

Закаленное стекло представляет собой листовое стекло, подвергнутое специальной термической обработке (иногда химической) – закалке, в результате которой в объеме стекла возникают закономерно распределенные внутренние напряжения, повышающие механическую прочность стекла и обеспечивающие особый (безопасный) характер его разрушения (рис. 3.9).

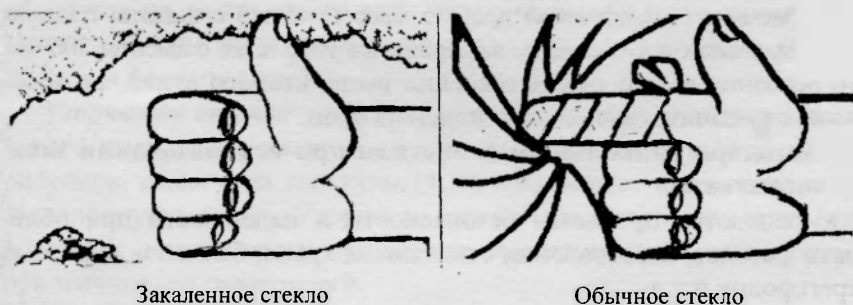


Рис. 3.9. Характер разрушения стекол

#### Основные достоинства закаленного стекла:

- оно не разрушается от случайных бытовых ударов; повышается прочность к ударам;
- высокая термическая стойкость, что позволяет применять его в наружном остеклении при использовании стекол окрашенных в массу или стекол с покрытием, имеющих большой коэффициент поглощения;
- при разрушении образует мелкие осколки стекла (от 1 до 10 мм) и не выпадает большими кусками. способными травмировать людей.

Оптические свойства стекла (коэффициенты пропускания, поглощения, отражения) после закаливания практически не изменяются.

Предел прочности закаленного стекла при изгибе может достигать 250 МПа, что более чем в 5 раз выше, чем у обычного листового стекла.

Стекло считается закаленным (например, по Британскому стандарту BS 6206), если в любом квадрате размером 50 x 50 мм образовалось не менее 40 и не более 400 штук осколков. Однако количество осколков регламентируется в зависимости от толщины закаленного стекла. Закаленное стекло является термостойким и выдерживает перепад температур не менее 300 °С. Это особенно важно при использовании в наружном остеклении стекол с коэффициентом поглощения более 25 %, когда стеклу может разогреваться до температуры 90 °С. В этом случае рекомендуется использование закаленных стекол. Закаленное стекло выдерживает удар «мягким телом» (мешок со свинцовой дробью массой 45 кг) с высоты падения 1200 мм, а листовое стекло не выдерживает удар даже с высоты 300 мм. Это особенно важно при остеклении выше второго этажа, во избежание случайного выпадения людей из окон.

**Благодаря уникальным свойствам при использовании закаленного стекла:**

- решаются проблемы безопасности и надежности при облицовке фасадов, изготовлении стеклянных крыш, балконов, офисных перегородок и т.д;
- снимаются вопросы температурных напряжений тонированных и зеркальных стекол.

Следует обратить внимание на тот факт, что закаленное стекло *не подлежит механической обработке*. Механическая обработка производится до процесса закаливания.

Закаленное стекло *используется в стеклопакетах* как одинарное стекло для остекления фасадов, витражей, зенитных фонарей, стеклянных кровель и крыш, окон для дверей и перегородок, цельных стеклянных дверей, остекления оранжерей, в качестве стекол для ограждений, увеличивает их прочность и безопасность в эксплуатации. Кроме строительства закаленное стекло широко используется для остекления холодильных прилавков, медицинских прозрачных шкафов, смотровых стекол для духовых шкафов, электрических и газовых плит, полок холодильников, створок и полок в мебельном производстве, окон в наземном транспорте, поездах.

На сегодняшний день, благодаря запуску новой линии горизонтальной закалки стекла фирмы GMS (Франция), ОАО «Гомельстекло» имеет возможность производить закаленное полированное стекло толщиной от 3 до 19 мм и размерами до 1300 x 2600 мм.

### 3.6.3. Виды стекол

**Армированное стекло** – листовое стекло с *металлической сеткой*, безопасное и пожаростойкое, которое при пожаре образует эффективную преграду против дыма и горячих газов. При пожаре такое стекло может треснуть, однако арматура удерживает его на месте, предотвращая тем самым распространение огня. Осколки стекла не выпадают даже при образовании нескольких разломов, а удерживаются на месте арматурой. Армированное стекло может быть применено при остеклении заводских цехов, окон, фонарей, шахт лифтов и фасадов зданий.

**Узорчатое стекло** – это листовое стекло, одна поверхность которого имеет декоративную обработку. Оно бывает разных цветов, рисунков, различной толщины (4...6 мм), может иметь различную светопропускаемость. Узорчатое стекло можно закалять и ламинировать. В основном его применяют при внутреннем остеклении и при изготовлении витражей.

**Ламинированное плоское стекло (триплекс)** изготавливается путем соединения нескольких слоев флоат-стекла или других различных типов при помощи поливинилбутиловой пленки (ГОСТ 30826-2001 «Стекло многослойное строительного назначения»).

**Высокопрочное многослойное стекло** представляет собой плоское изделие, имеющее многослойную структуру, образованную листами стекла по ГОСТ 111 и упрочняющего полимерного материала, склеивающего или покрывающего эти листы, либо выполняется в виде стекла с наклеенной пленкой с одной или обеих сторон (использовано на куполах подземного города «Столица» на пл. Независимости г. Минска).

В качестве упрочняющего склеивающего материала могут использоваться поливинилбутиральные, полиуретановые пленки или жидкие полимерные смеси, специальные полимерные материалы по действующему ТНПА.

**Противовзломное стекло** – многослойная структура, полученная на основе стекла и полимера с единым сечением защитных слоев по всей поверхности и временно препятствующая умышленному прорубанию в нем отверстия, через которое может проникнуть человек, например К – PLUS-KOMBI.

**Противоударное стекло** – однослойная или многослойная структура, полученная на основе стекла и полимера с единым сечением защитных слоев по всей поверхности и выдерживающая удар брошенного предмета (палка, камень и т.п.) без образования сквозного отверстия.

**Пулестойкое стекло** – однослойная или многослойная структура, задерживающая пулю, выпущенную из ручного стрелкового оружия, без пробойны (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Классификация пулестойкого стекла

Класс стойкости к воздействию стрелкового оружия (защиты)	Вид оружия	Наименование и индекс патрона	Дистанция обстрела, м
1	2	3	4
П <sub>мс1</sub>	Пистолет Макарова (ПМ)	9-мм пистолетный патрон 57-Н-181С с пулей П <sub>ст</sub>	5 ± 0,05
	Револьвер типа «Наган»	7,62-мм револьверный патрон 57-Н-122 с пулей Р	5
П <sub>мс2</sub>	Пистолет специальный мелкокалиберный (ПСМ)	5,45-мм пистолетный патрон 7Н7 с пулей П <sub>ст</sub>	5
	Пистолет Токарева (ТТ)	7,62-мм пистолетный патрон 57-Н-134С	5
П <sub>мс2а</sub>	Охотничье ружье 12-го калибра	18,5- мм охотничий патрон	5
П <sub>мс3</sub>	Автомат АКМ	7,62-мм патрон 57-Н-231 с пулей ПС	5...10
П <sub>мс4</sub>	Автомат АК-74	5,45-мм патрон с пулей 7Н10	5...10

1	2	3	4
П <sub>мс5</sub>	Автомат АК-74	7,62-мм патрон 57-Н-231 с пулей ПС	5...10
П <sub>мс5а</sub>	Автомат АКМ	7,62-мм патрон 57-Б3-231	5...10
П <sub>мс6</sub>	Снайперская винтовка СВД	7,62-мм патрон СТ-М2	5...10
П <sub>мс6а</sub>	Снайперская винтовка СВД	7,62-мм патрон с пулей Б3-32	5...10

Основная задача триплекса – препятствовать насильственному вторжению. *Ламинирование не увеличивает механическую прочность стекла*, однако при разрушении ламинированное стекло остается целым благодаря ламинирующей пленке, т.е. осколки стекла остаются прикрепленными к ней. Кроме того, использование триплекса:

- снижает опасность от разлетающихся осколков или падающего стекла (стекло разбивается, но остается в раме; сохраняет форму и прозрачность);
- способствует защите помещения от вредного воздействия ультрафиолетовых лучей (предохраняет от выгорания мебель, обои и др.);
- обеспечивает звукоизоляцию (многослойное стекло способно эффективно снижать воздействие нежелательных шумов).

Разными видами ламинирующих пленок можно обеспечить практически любое тонирование стекла. Ламинированные стекла применяются при остеклении фасадов зданий, балконов, окон.

Указанное стекло применяется в местах, защита которых требует особого внимания, например, в школах, детских садах, кассовых помещениях, бензозаправках и взрывоопасных зданиях. Ламинированное стекло превосходно подходит для остекления кровель и крыш. Толщина стекла 5 и 9 мм.

Прочность ламинированного стекла зависит от количества слоев стекла и пленки. Ламинированное стекло изготавливается в разных комбинациях этих слоев. Применение закаленного стекла в качестве одного или нескольких слоев ламинированного стекла значительно увеличивает его прочность. Ламинированное стекло не обязательно бесцветное.



Применение ламинированного стекла в строительной промышленности:

- горизонтальные остекления: крыши и фонари;
- ограждения лестниц и балконов;
- остекления вне и внутри помещений школ, госпиталей, тюрем, банков, выставок;
- остекление перегородок, витрин и стендов;
- окошки и кассовые помещения;
- остекление дверей.

Более знакомым вариантом ламинированного стекла «триплекс» являются стекла ветровые для грузовых и легковых автомобилей.

В августе 2001 г. в Минске введена в строй первая очередь нового предприятия «Завод стеклопакетов и архитектурного стекла». Оборудование завода позволяет обрабатывать любую марку листового стекла, выпускаемого в мире. Раскрой стекла толщиной до 19 мм осуществляется на автоматическом столе с компьютерным управлением с точностью по диагонали  $3 \times 2 \text{ м} - 0,1 \text{ мм}$ . В перспективе предусмотрена обработка стекол размером  $3 \times 6 \text{ м}$ . Возможна разрезка стекла по любой заданной траектории. Автоматическая моечная машина рассчитана на любые виды стекол, в т.ч. и с так называемыми «мягкими» покрытиями (энергосберегающими и селективными).

### *3.6.4. Требования к современному стеклопакету*

#### А) Тепловая защита

После высокого роста цен на нефть в 1973 году и энергетического кризиса 1979 года в развитых странах мира были предприняты значительные и последовательные действия по теплосбережению. В строительстве это выразилось в использовании эффективных утеплителей для стен и стеклопакетов в сочетании с герметичными пластиковыми рамами для окон.

Сейчас те же проблемы по энергоэффективности остро испытывает Республика Беларусь. Поэтому важно воспринять передовой опыт не повторяя чужие ошибки.

Уменьшение потерь энергии неотделимо от проблем экологии. Через улучшение теплозащиты уменьшается выброс в атмосферу

углекислого газа, а следовательно, отодвигается угроза глобальных климатических изменений. К 2005 году выброс  $\text{CO}_2$  должен был уменьшиться на 25...30 % по сравнению с 1987 годом. Беларусь как член международного сообщества должна стремиться по соответствию своих строительных технологий современным, отвечающим требованиям по теплосбережению и охране окружающей среды.

Эффективность теплозащиты в зарубежных странах оценивается коэффициентом тепловой проводимости  $K$ , соответствующим количеству тепла (Вт), проникающего в единицу времени через  $1 \text{ м}^2$  окна при разнице температур внутри и вне помещения на  $1^\circ\text{C}$ . Чем ниже значение  $K$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , тем лучше теплозащита.

Отечественными нормами теплосбережение оценивается сопротивлением теплопередаче ограждающих конструкций  $R$ , являющимся величиной обратной  $K$ :

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{1}{K}.$$

Некоторые числовые значения коэффициента  $K$  для различных видов остекления в световых проемах приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Вид остекления. Заполнение светового проема	Значения коэффициентов		
	тепловой проводимости $K$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$	сопротивления теплопередаче $R_t$ , (град $\cdot \text{м}^2$ )/Вт	
		не менее	
1	2	3	4
Одинарное прозрачное стекло	5,8	0,17	100 %
Стеклопакет однокамерный 4-В8- 4*	3,3	0,30...0,32	
Стеклопакет 4-В12- 4	2,9-2,8	0,34-0,39	116 %
Стеклопакет 4-16-4	2,8	0,36**	
Стеклопакет 4-16-4-16-4	2,2	0,44	202 %
Стеклопакет 4-12Аг-4К	1,8	0,58	
Стеклопакет 4-12-4К	1,5	0,67	
Стеклопакет 4-16-4К	1,5	0,67	132 %

1	2	3	4
Стеклопакет 4-16Ag-4K	1,3	0,77	
Стеклопакет K4-B16-K4		0,78	
Стеклопакет K4-K16-K4		0,84	

Примечание.

\* Расшифровка формулы стеклопакета: 4 – стекло толщиной 4 мм; 8 – толщина воздушного зазора 8 мм; Ag – заполнение зазора между стеклами инертным газом (аргоном); K – стекло с селективным покрытием.

\*\* Величина сопротивления теплопередаче должна оцениваться для окна в целом, т.е. стеклопакет + створка-рама. Рамы из трех- или четырехкамерного профиля ПВХ обеспечивают величину  $R_T = 0,63 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ .

Как следует из таблицы, значение  $R$  или  $K$  зависит от толщины воздушного зазора. При увеличении последнего с 8 до 16 мм  $K$  уменьшается на 16 %. Однако дальнейшее увеличение зазора до 18...20 мм и более такого эффекта не дает.

Сопротивление теплопередаче одного обычного стекла составляет примерно  $0,17 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$ , а стеклопакета из двух обычных стекол –  $0,32...0,39 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$ . Приведенное сопротивление теплопередаче трехстекольного окна, с учетом материала, из которого оно изготовлено, и конструкции притворов створок к коробке, может достигать значения, превышающего  $0,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$ . Более высокие значения термического сопротивления можно получить, работая над улучшением теплоизоляционных показателей стеклянной части окна и оконных рам и коробок. Наибольший эффект достигается использованием в стеклопакете одного из стекол с селективным покрытием, способным отражать тепловые волны внутрь помещения и одновременно пропускать снаружи солнечное коротковолновое тепловое излучение. Только за счет применения в стеклопакете такого стекла, а также введения в межстекольное пространство более плотного, чем воздух, газа, например, аргона (Ar), криптона (Kr) или ксенона (Xe), можно добиться величины термического сопротивления, приближающегося к единице. Отдельные примеры из зарубежной практики свидетельствуют о том, что соответствующие конструктивные решения окон, и прежде всего их стеклянной части, смогут способствовать достижению термического сопротивления теплопередаче, равного  $1,8...2,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}$ .

Современный трех- и четырехкамерный пластиковый профиль в сочетании с однокамерным стеклопакетом при использовании одного специального стекла с селективным покрытием способен обеспечить хорошие теплозащитные характеристики. При этом последнее решение выигрывает и по стоимости, и по эстетике, и по универсальности своего применения.

Дискуссии ведутся также и по проблеме использования стеклопакетов, наполненных инертным газом. Здесь следует заметить, что подобное решение отнесено мировой практикой к разряду специальных (рекомендуется, например, для высокогорья, при очень низких ночных температурах и больших их перепадах, а также для сооружений, где требуется очень высокая теплоизоляция).

Недостатков у этого стеклопакета могут быть два: дороговизна и трудность проверки качества газонаполнения. Последнее имеет свойство рассасывания с течением времени.

Особых технических проблем изготовление подобных стеклопакетов не создает. Однако в климатических условиях Беларуси эти стеклопакеты также следует рекомендовать к использованию в особых случаях.

Для массовых нужд целесообразно использовать стеклопакеты типов 4-16-4 и 4-16-4К. При этом заметим, что для изготовления первого вполне годится гомельское флоат-стекло. Изготовление же второго типа с селективным стеклом требует использования импортного стекла; цена такого стеклопакета возрастает вдвое. Поэтому при их изготовлении с учетом норм теплосбережения целесообразно учесть платежеспособный спрос.

Недостатками гомельского флоат-стекла были нестабильное качество – превалирование марки М-3, М-4 (современные требования предполагают использование для стеклопакетов марок М-1 или М-2), а также малый размер выпускаемых стекол – при евро стандарте 2 x 3 м ОАО «Гомельстекло» выпускает в основном стекла размером 1,3 x 1,8 м. Эти недостатки в настоящее время устранены при совершенствовании технологии предприятия.

## Б) Шумозащита – звукоизоляция

Исследования показывают, что за последние десятилетия шум от транспорта увеличился в 6 раз, а от самолетов – до 30 раз. Это заставляет отнести шум к загрязнению окружающей среды, непосредственно угрожающему человеку.

Звукоизоляция стеклопакета зависит от следующих параметров:

**а. От толщины стекла.** Чем стекло толще и тяжелее, тем лучше звукопроницаемость. Таким образом, важна толщина стекла.

**б. От прочности стекла.** Чем эластичнее полотно стекла, тем выше шумозащита.

Для этого изготавливают стекла типа «триплекс» (рис. 3.10) путем склейки двух и более полотен специальной прозрачной или цветной смолой, например, марки «Кодилан», с низкой прочностью на изгиб.

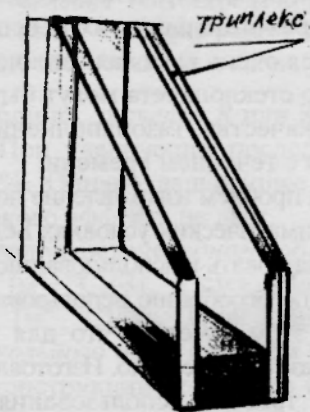


Рис. 3.10. Стекло типа «триплекс» в стеклопакете

Использование «триплекса» в стеклопакете дает еще лучшие характеристики по звукоизоляции. Стеклопакеты такого рода весьма эффективны, к примеру, в аэропортах, вблизи нагруженных автомагистралей и т.п. Кроме того, изготавливаемое триплекс-стекло можно эффективно использовать при строительстве шумопоглощающих экранов вдоль магистралей, вокруг аэропортов, на остановках общественного транспорта и т.п.

**в. От построения стеклопакета.** Наиболее простым и дешевым приемом, которым пользуются фирмы-производители, является изготовление стеклопакета из *двух стекол различной толщины*, например 4 и 6 мм. Разная частота колебаний стекол дает ощутимый эффект.

г. **От толщины воздушного зазора.** Чем шире зазор между стеклами, тем лучше шумозащита. Например, стеклопакет по формуле 8-12-4 дает шумопоглощение 37 дБ, а в случае формулы 8-24-4 – 43 дБ.

д. **От газонаполнения.** Применение более тяжелых, чем воздух, газов, например, шестифтористой серы ( $SF_6$ ) или аргона (Ar), улучшает шумозащиту на 3 или 5 дБ. Однако это незначительное улучшение шумозащитных свойств не соответствует затратам.

Обобщенные характеристики шумозащиты представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Вид экрана		Характеристики шумозащиты, дБ
Стекло	4 мм	27
	8 мм	32
	12 мм	35
4-1-4* смола («триплекс»)		36
<i>Стеклопакеты</i>		
8-12-4 воздух		37
(4-1-4)-12-4 воздух		38
(4-1-4)-16-6 воздух*		41
(4-1-4)-12-4 $SF_6$		42
(4-1-4)-16-6 $SF_6$		44

\* 4 – толщина стекла, мм; 1 – толщина слоя смолы, мм.

И еще одно требование к стеклопакету – **противовзломные и антиосколочные показатели или защита от осколков и нежелательного проникновения.**

Зарубежными фирмами разработаны специальные виды смол, позволяющие изготавливать безосколочные стекла типа «триплекс» любого размера. Это стекло предназначено для применения в спортивных залах, стадионах, высоких витринах, в школах, детских садах, фасадных остеклениях, т.е. в случаях, когда возможные осколки могут поранить. Стекло 4-1-4 или 4-2-4, 4-2-6 и т.п. разбивается так же, как лобовое стекло автомобиля. Использование шумозащитной смолы одновременно делает стекло безосколочным.

В особых случаях применяется специальная противоударная смола высокой прочности, которая позволяет изготавливать противовзломные многослойные стекла. Для банков и офисов может быть использовано стекло 4-1-4-1-4 и толще, оно пуленепробиваемо; пуленепробиваемым также является стекло «MULTIFLOAT» с  $h = 19,5; 22,5$  и 31 мм. Стекла такого типа изготавливаются компаниями по спецзаказу.

### **Перечень видов стекол, изготавливаемых и применяемых в строительстве за рубежом:**

- прозрачные стекла;
- стекла, изготовленные из цветной стекломассы;
- твердопокрытые стекла (зеркальнообразные);
- мягкопокрытые стекла (зеркальнообразные) или тонированные;
- твердопокрытые К-стекла (селективы);
- мягкопокрытые i-стекла (селективы);
- просветленные стекла;
- неотражающие стекла;
- узорчатые стекла;
- антикварные стекла;
- особо тонкие стекла;
- стекла, пропускающие ультрафиолетовое излучение;
- зеркала;
- эмалированные стекла;
- рентгенозащитные стекла;
- ламинированные стекла;
- звукоизолирующие стекла;
- огнезащитные стекла;
- разделяющие стекла;
- керамические стекла;
- фотохромные стекла\*;
- стеклянные кирпичи;
- профильные стекла;
- фильтрующие стекла;
- стекла, защищающие от электромагнитных излучений.

---

\**Фотохромные стекла* – стекла, которые при добавлении в стекломассу серебристых галогенов меняют при изменении количества света свою свето- и теплопроницаемость, т.е. становятся более темными или более светлыми в зависимости от освещения.

Таким образом, применяя в стеклопакетах тот или иной вид стекла, можно варьировать их свойства в зависимости от целей применения, включая повышение теплозащитных качеств.

Стекло для оконного заполнения в развитых странах является предметом достижения технического прогресса. На рынки Европы уже поставляется такой вид стекла, как термоизолированное механически высокопрочное стекло, снабженное электропроводящим слоем. Последнее дополнение позволяет получить электрообогреваемую поверхность оконного заполнения или использовать его для создания системы сигнализации. В будущем такие стекла позволят вставлять в оконные блоки телевизионные антенны, снабжать радиоантеннами автомобили; использовать в системе солнцезащиты, а также обеспечивать оконным заполнением защиту от получения информации через стекло.

### **3.6.5. Некоторые рекомендации для повышения энергоэффективности и качества существующих окон**

Профили оконных створок и коробок деревянных окон рекомендуется выполнять преимущественно из брусков, склеенных по толщине и длине из отсортированных досок-ламелей.

Притворы створок и коробок должны содержать уплотнительные прокладки (оконные уплотнители) из атмосферостойчивой резины.

Установку стекол в наружных створках желательно выполнять на силиконовых замазках.

Запорная оконная фурнитура должна обеспечивать притвор створок к коробке равномерно по всему периметру.

Безымпостный притвор створок необходимо допускать в окнах высотой менее 1500 мм.

Для обеспечения воздухо- и водонепроницаемости по всему контуру коробки и створки устанавливаются пористые уплотнения. Система уплотнения имеет два контура – наружный и внутренний. При этом наружное уплотнение может быть установлено как непосредственно по наружному контуру профиля, так и в середине.



## **Виды самоприклеивающихся уплотнительных прокладок для окон и дверей (СТБ 939-93, СТБ 4.224-95)**

Уплотнение окон, конечно, не заменит новых, хорошо изготовленных окон, но:

1. Стоимость 1 м<sup>2</sup> хорошего окна – 150...200 \$ с монтажом.
2. Уплотнение может стоить 10...20 % цены хороших окон, а эффект – 80 % теплового эффекта нового окна.
3. При качественном уплотнении можно экономить 20...30 % тепла.
4. Не чувствуется холод, даже если температура радиаторов в доме понизится на 2-3 °С.
5. Температура в комнате повышается на 6...8 °С.

Уплотнительные прокладки бывают различной формы, толщины, цвета и из различного материала (импортное сырье высшего качества из Германии, Швеции, Швейцарии). Надежно прилипает и более долговечной является прокладка черного цвета.

Все они предназначены для многолетнего использования.

PU – прокладки из полиуретановой пены с закрытыми порами. Имеют большую гибкость, рекомендуются для небольших щелей.

PE – прокладки из полиэтиленовой (ПЭ) пены с закрытыми порами, также имеют отличные изоляционные свойства, применяются для щелей средней величины в оконных створках, закрываемых зимой наглухо.

PVC – прокладки из вспененного полихлорвинила (ПВХ) со смешанными порами, предназначены для малых и средних щелей.

Лучшие оконные уплотнения изготавливают из материала, обозначаемого аббревиатурой ЭПТК (этилен-пропилен-термополимер-каучук). Международное обозначение – EPDM. ЭПТК-EPDM обладает значительной долговечностью, устойчивостью по отношению к атмосферным воздействиям, высокой прочностью на растяжение ( $8,3 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>) и эластичностью (удлинение при разрыве – 400 %). При этом его эластичность сохраняется в интервале температур от –50 до +120 °С. Будучи устойчивым к воздействию кислот и щелочей, ЭПТК-EPDM имеет низкую сопротивляемость по отношению к минеральным маслам и жирам; набухает в таких растворителях, как бензин и углеводороды. При этом процесс набухания носит частично обратимый характер.

Прокладки EPDM – из пористого каучука, их штампуют в форме различных профилей. В зависимости от размера щели можно

подобрать соответствующую форму прокладки. Такие прокладки характеризуются отличной отдачей, т.е. восстановлением формы, предназначены для многолетнего использования в средних и больших щелях, выпускаются четырех видов (рис. 3.11).

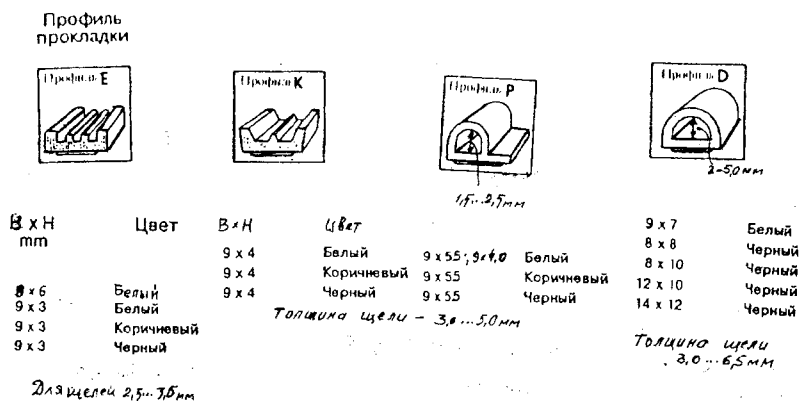


Рис. 3.11. Виды оконных уплотнительных прокладок из пористой резины

Все уплотнительные прокладки самоклеющиеся, с нанесенной на них липкой лентой. Клеевой состав – водная дисперсия полимеров, без органических растворителей, что упрощает их установку в деревянных, пластмассовых, металлических конструкциях окон. Установленные один раз они служат от 3 до 10 лет. Срок службы зависит от используемого типа уплотнительных прокладок.

Все прокладки:

- защищают от сквозняков и пыли;
- изолируют от наружного шума;
- имеют очень хорошую устойчивость к озоновым влияниям;
- морозоустойчивы и прекрасно ведут себя в различных погодных условиях.

Применение прокладок создает проблему дополнительной вентиляции помещения, что является их недостатком.

## Эффективное устранение проникновения воздуха в окна старой конструкции

Неконтролируемый воздухообмен вызывает избыточное проникновение наружного воздуха в помещение, последствия чего исправляют обычно дополнительным отоплением. Если же окна тщательно уплотнены, расход теплоэнергии на отопление может быть снижен до 15 %.

Результаты обследований окон в эксплуатируемых зданиях свидетельствуют о *неравномерных зазорах* по периметру притворов створок к коробкам, вызванных механической деформацией этих элементов окон, неравномерностью притворов запорными приборами, некачественной древесиной и т.п. И здесь не решить проблему утечки тепла через притворы даже с использованием качественных импортных, но традиционных уплотнительных прокладок.

Сегодня в западных странах и в Республике Беларусь для предотвращения воздухообмена применяют *жидкие силиконовые или каучуковые мастики*.

Нанесенная на предварительно очищенные участки притворов жидкая мастика заполняет зазоры притворов по всему контуру, образуя в результате эластичную пористую массу, сформированную в надежную, долговечную уплотнительную прокладку требуемого сечения.

*Чтобы уплотнить притворы окон и дверей жидким герметиком необходимо (рис. 3.12–3.14):*

- 1) тщательно очистить места установки старого герметика;
- 2) на подготовленные места выдавить из тюбика жидкий герметик в нужном количестве;
- 3), 4), 5) наложить на влажную массу ленту из полиэтиленовой пленки;
- 6) аккуратно закрыть створку окна или двери до упора, после высыхания герметика открывать створку и осторожно удалить пленку;
- 7) срезать избыток герметика ножом;
- 8) покрыть полученную прокладку порошком (тальком).

Порошок будет препятствовать примыканию массы к оконной раме, даже если окно не открывается годами.

## Как уплотнять окна и двери?



Рис. 3.12. Как уплотнять окна и двери

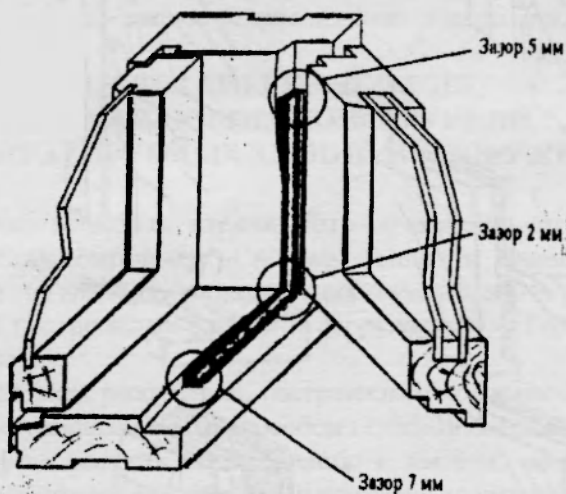


Рис. 3.11. Уплотнение притворов жидким герметичном в современных окнах

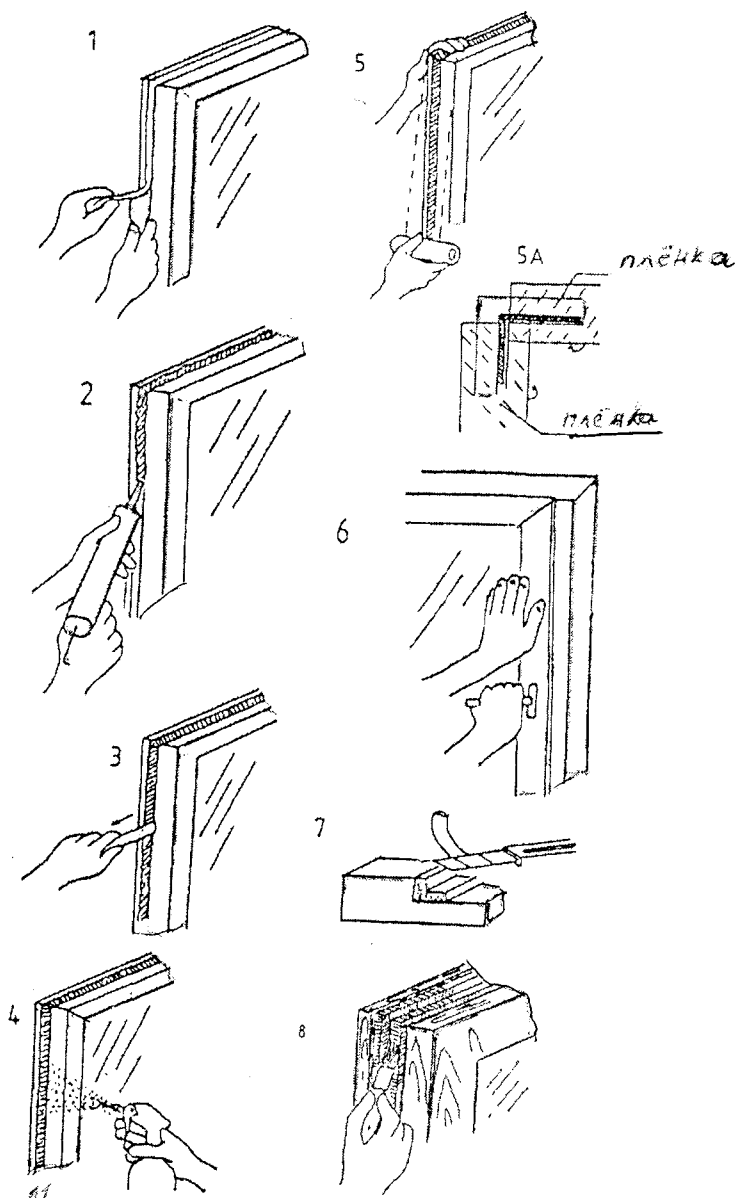


Рис. 3.14. Последовательность работ по уплотнению существующих окон жидким герметиком

Жидкие герметики сохраняют свои технические свойства при температуре от  $-50$  до  $+120$  °С. Герметик твердеет и не разрушается.

Использование жидких герметиков значительно улучшает также и звукоизоляционные свойства окон. Звук способен проникать даже через малейшие отверстия, поэтому окна нужно уплотнять особенно тщательно.

Производители жидких герметиков дают 5-10-летнюю эксплуатационную гарантию.

Для уплотнения окон требуются герметики. Деревянные рейки и так называемые штапики не сдерживают ни влаги, ни ветра, гноят раму и создают неприятную вибрацию. Заменить рейки для наружного стекла можно герметиком MONO 321. Он довольно упругий, белого цвета. Свежий, он легко моется с мылом. Для щелей рекомендуются герметики TREMSIL 200 и GLASSILIKONE. Это герметики фирмы TREMCO, очень хорошего качества и недорогие.

Для улучшения теплового сопротивления окна можно вставить и третье стекло. Хорошо уплотненное окно с тремя стеклами имеет тепловое сопротивление, близкое сопротивлению окна со стеклопакетом.

#### **4. СИСТЕМЫ УТЕПЛЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

В различных печатных изданиях это заглавие может быть написано по-разному. Например «Системы тепловой санации фасадов зданий» или «Тепловая модернизация (изоляция) ограждающих конструкций построенных зданий и сооружений», «Терморевитализация зданий».

Жилищный фонд республики, построенный в основном в послевоенное время крупнопанельным способом (1956–1991 годы), имеет низкую энергоэффективность по сравнению с жильем, построенным в ряде передовых стран с аналогичными климатическими условиями.

Основными причинами низкой энергоэффективности жилого фонда являются:

- низкая теплозащита ограждающих конструкций, включая и столярные изделия;
- нерациональные архитектурно-планировочные решения жилых домов;

- большие потери в сетях теплоснабжения и отопления и отсутствие регулирования теплоснабжения;
- недостаток приборов для учета расхода газа, холодной и горячей воды, теплоносителя;
- несовершенство инженерного оборудования;
- коррозия арматуры из-за нарушений поверхностного слоя бетона;
- пониженная шумозащита;
- невыразительность архитектурно-цветовых решений при массовой застройке.

Жилищный сектор является одним из крупнейших потребителей энергии, и решение проблем энергосбережения позволит существенно снизить потребление первичного топлива в стране.

В странах Западной Европы начиная с 70-х годов XX века ведется непрерывная работа по энергосбережению в жилищно-коммунальном хозяйстве. Проблема энергоэффективности является одним из основных направлений повышения эффективности экономики и возведена в ранг государственной политики.

Там уже сложилась специальная подотрасль стройиндустрии по производству элементов утепления зданий, а также специальные подразделения, выполняющие эти работы.

В результате проделанной работы по утеплению существующих зданий в целом по странам Западной Европы расход топлива на их отопление сократился на 40...50 % и составляет около 45...50 кВт · ч/м<sup>3</sup> в год, в то время как удельное потребление тепла на обогрев жилых зданий в Беларуси составляет 200...250 кВтч/м<sup>3</sup> в сезон/год, а в Финляндии этот показатель составляет только 135 кВт · ч/м<sup>3</sup> в год.

Что такое тепловая санация зданий (тепловая модернизация)?

**Тепловая модернизация зданий** – такой вид преобразования здания, при котором производится экономически целесообразное повышение величины сопротивления теплопередаче  $R_f$  ограждающих конструкций с целью приведения эксплуатационных и архитектурно-художественных качеств в соответствие с современными функциональными и эстетическими требованиями.

В принципе, это «лечение» здания, изначально построенного как неэкономичное и, следовательно, приносящего эксплуатирующей его организации, жильцам, а в конечном итоге государству значительные убытки.

Поскольку такое «лечение» зданий должно носить комплексный характер, в понятие тепловой модернизации («санации») входят следующие мероприятия:

- утепление фасадов (в основном наружное);
- наружное утепление кровли или теплоизоляция чердачного перекрытия;
- утепление подвальных перекрытий снизу;
- полная замена столярки (оконных и дверных блоков);
- замена инженерных коммуникаций;
- восстановление гидроизоляции стен подвала;
- устранение причин увлажнения подвальных помещений;
- наладка системы вентиляции;
- отопление лестничных клеток или теплоизоляция внутренних стен, выходящих на лестничную клетку.

Комплексная санация одного здания, а тем более – целой группы зданий (в Республике Беларусь около 2,5 тыс. «хрущевок»), – это не просто дорого, а очень дорого! И тем не менее ее необходимо выполнять.

Наружные ограждающие конструкции (стены) в зависимости от расположения в них теплоизоляционных материалов можно утеплить тремя способами (системами):

- внутренняя теплоизоляция;
- наружная (с холодной стороны стены) теплоизоляция;
- вариант, когда теплоизоляция выступает в качестве среднего слоя конструкции.

Наиболее предпочтительными и рациональными для повышения эксплуатационных характеристик здания представляются системы наружного утепления, т.е. системы, повышающие термическое сопротивление ограждающих конструкций  $R_T$ .

Тепловая «шуба» для дома, в которую укутаны все части здания, – это лучшее техническое решение. Наружное утепление имеет ряд выраженных преимуществ, а именно:

- при наружной теплоизоляции создаются благоприятные температурно-влажностные условия работы изолируемых ограждающих конструкций;
- стена надежно защищается от неблагоприятных внешних воздействий суточных и сезонных температурных колебаний, которые ведут к неравномерным деформациям элементов стен, что приводит



к образованию трещин, раскрытию швов, отслоению штукатурки. Эти колебания воспринимает уже теплоизоляционный слой, для которого, если он выполнен, например из высококачественной каменной ваты PAROC, это не представляет никакой опасности;

- при наружной теплоизоляции стена защищена от атмосферных осадков, появления микроорганизмов на поверхности стены из-за избытка влажности, образования льда в толще стены;

- в холодное время года наружная теплоизоляция препятствует охлаждению массивов ограждающих конструкций до температуры точки росы и выпадению конденсата на внутренних поверхностях или в конструкции стены;

- наружные теплоизоляционные системы, выполненные с применением каменной ваты, не являются препятствием для существовавшего до изоляции так называемого дыхания стен.

При этом величина теплотеря уменьшается (минимизируется) до 10...15 % по сравнению с 35...45 % до утепления и одновременно улучшается качество жилья, которое зачастую изначально не предназначено для проживания человека.

Особенно это касается белорусской периферии – небольших поселков сельского типа, застроенных панельными домами малой этажности.

Все существующие системы наружного (внешнего) утепления (теплоизоляции) фасадов, используемые сегодня в Беларуси, условно можно разделить на два основных типа:

- 1) «штукатурные» технологии (их часто называют «мокрыми» системами) наружного утепления фасадов;

- 2) «сухие» системы с вентилируемым фасадом.

Система теплоизоляции – это сменная одежда здания.

Принципиальное отличие между этими системами состоит в том, что в первых используются «мокрые» процессы (утеплитель приклеивается, и на его поверхности создаются штукатурные слои защитного (базового) и декоративного слоев). Наличие «мокрых» процессов требует обеспечения определенного температурного режима (обычно не ниже +5 °С). Поэтому «штукатурные» технологии гораздо чаще применяются в теплое время года. Зимой их применение требует возведения тепляков и дополнительных затрат на обогрев или строителям приходится делать паузу на холодный период года. Это экономически невыгодно.

Также требуется защита применяемых материалов от воздействия прямых солнечных лучей и атмосферных осадков. Работы нельзя выполнять при сильном ветре и дожде. Организация работ осложняется наличием рабочих процессов, требующих непрерывности, а также наличием операций, которые выполняются в ограниченный промежуток времени. Так, заделка сетки в клеящий состав армирующего слоя по немецкой технологии «Капатект» должна выполняться в течение 15...20 минут, что при армировании фасадов многоэтажных зданий на большом количестве ярусов весьма затруднительно и требует дополнительного количества рабочих, увеличения общей площади настила лесов и повышения несущей способности стоек лесов.

Непрерывные процессы, такие как создание отделочных штукатурных слоев, где могут соединяться только мокрые слои штукатурки («мокрый стык»), также требует применения по фасаду большой площади средств подмащивания, которые, как правило, должны устанавливаться по всему периметру здания.

Применение локальных средств подмащивания в виде люлек или вышек здесь не рекомендуется. Развертывание работ на широком фронте с помощью лесов обычно воздействует на инфраструктуру городских районов (обостряется проблема охраны имущества жильцов и организаций) и должно быть ограничено по времени. Но при выполнении работ по утеплению в комплексе с капитальным ремонтом, когда эксплуатация объекта временно прекращается, метод явно предпочтителен из-за его скорости и высокой производительности труда.

«Сухие» системы вентилируемого фасада принципиально не содержат «мокрых» процессов, и поэтому они с одинаковым успехом монтируются и летом и зимой.

«Сухая» система предусматривает устройство каркаса, в который вставляются плиты теплоизоляции, и крепление отделочных панелей к этому каркасу поверх теплоизоляции.

В основе «мокрых» или закрытых «штукатурных» технологий лежит применение наружной штукатурки, которая наносится поверх слоя теплоизоляции и армируется стекло-, полимерной либо металлической сеткой.

В Беларуси уже имеется опыт применения как «сухих», так и «мокрых» технологий наружного утепления зданий. Так в 1997 году в Минске был утеплен пятиэтажный жилой дом по проспекту Пушкина, 54 (см. рис. 4.1).



Рис. 4.1

При термореновации этого дома была использована композиционная система немецкой фирмы *Capatect* (Капатект), которая любезно предоставила свои материалы для работы. Проект был разработан институтом НИПТИС, работы проводила фирма «Карис». Система, предложенная фирмой *Capatect*, относится к разряду «мокрых» технологий.

Наиболее распространенным названием для «мокрых» технологий (систем), применяемых в Беларуси, является термин «система термошуба» (рис. 4.2). Именно под таким названием предприятие «Сармат» и институт НИПТИС предложили систему утепления наружных стен, основанную на применении плит жесткого или полужесткого утеплителя, приклеиваемых к фасаду и дополнительно фиксируемых анкерами и армирующей сеткой. По этой технологии фирмой «Сармат» было выполнено много объектов. Одним из первых был утеплен жилой дом по ул. Матусевича, 11 в г. Минске. Работы финансировались с поддержкой Европейского союза по программе TACIS. Фирма «Сармат» с успехом применила эту систему (технология) и на ряде других объектов в различных населенных пунктах Беларуси. Особенно был интересен опыт наружного утепления вновь построенного 12-этажного жилого дома в Минске по

ул. Сторожевской и старого здания физического факультета БГУ (ул. Бобруйская – проспект Независимости). В системе теплоизоляции, примененной на этом и других объектах, использовались негорючие плиты утеплителя на основе каменной ваты. Как правило, все утеплители, применяемые в республике, кроме пенополистирола, были импортного производства. Отечественная промышленность до 2005 года была не в состоянии освоить производство качественной теплоизоляции на основе минеральных волокон. В настоящее время предприятие «Гомельстройматериалы» выпускает каменную вату «Белтеп» на современном зарубежном оборудовании.

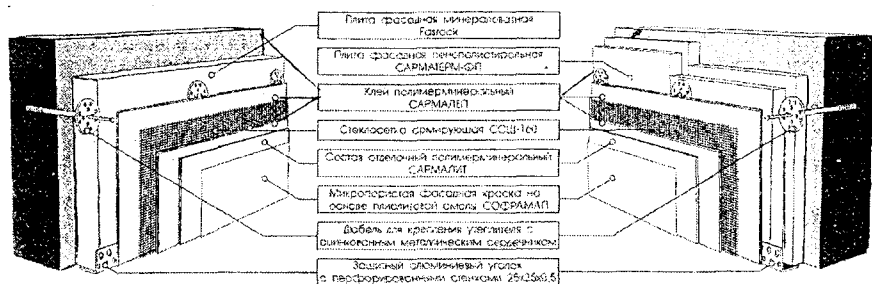


Рис. 4.2. Материалы системы утепления «Термошуба»

Технология «термошуба» широко применяется при санации объектов в Чернобыльской зоне – тех самых двухэтажных панельных коробок, внутри которых в холодное время года образовывалась наледь на стенах, а сырость и плесень терзали жильцов круглогодично. Несмотря на некоторые вынужденные отступления от технологии (например, применение недостаточно толстых плит утеплителя), достигнутый эффект не остался незамеченным ни со стороны жильцов ни со стороны властей, буквально засыпавших заказами фирмы, осуществляющие теплоизоляцию.

#### **4.1. Рациональные технологические и организационные решения при проведении работ по тепловой санации зданий**

##### ***Виды организации работ по утеплению зданий***

Подход к утеплению зданий, разработанный в НИПТИСе (Республика Беларусь), основывается на разработке организационно-

технологических мероприятий по утеплению здания в целом и доведения его энергетических параметров до расчетных, определяемых проектом.

При этом следует разрабатывать (закладывать в проект) ресурсосберегающие технологии, применимые в стесненных условиях жилых микрорайонов городов, и методы работ, выполняемые без нарушения функционирования утепляемых объектов.

Организация работ по утеплению и отделке фасадов зданий бывает трех видов:

1) утепление эксплуатируемых жилых и общественных зданий без выселения жильцов и с продолжением эксплуатации этих зданий;

2) утепление эксплуатируемых жилых и общественных зданий с выселением жильцов и прекращением эксплуатации этих зданий на время ремонта;

3) утепление строящихся зданий, чтобы энергетические характеристики соответствовали нормативным.

**Утепление эксплуатируемых жилых и общественных зданий без выселения жильцов.**

Обычно такие работы проводятся в устаревших жилых домах, выполненных из железобетонных крупных панелей, силикатных блоков, кирпича. Необходимо повысить термическое сопротивление  $R_T$  вышепречисленных ограждающих конструкций.

Организация работ этого вида является наиболее сложной, но относительно дешевой и поэтому приемлемой. При этом возможно одновременно увеличивать площади квартир и за счет надстройки мансард образовывать новые дополнительные квартиры.

При выполнении работ по утеплению устаревших жилых домов без выселения жильцов и с продолжением эксплуатации общественных зданий должны, как правило, учитываться требования, предъявляемые обычно к ремонтно-строительным работам. Особенностью является то, что для начала работ по утеплению требуется поставка всего необходимого материала и, естественно, наличие необходимого количества рабочих. В связи с этим возникает необходимость в создании приобъектных складов и подсобных помещений для нужд подрядной организации, что в стесненных условиях жилых микрорайонов не всегда возможно. Поэтому следует избегать создания сверхнормативных запасов материалов на объекте. Рекомендуется выполнение работ методом «с колес», с разгрузкой материалов в зону монтажа. В этом случае предусматривается

лишь резервная складская площадка, что позволяет исключить устройство приобъектного склада. Нормативные запасы материалов должны храниться на базах подрядной организации, причем при ведении работ на нескольких объектах рекомендуется планировать их доставку по оптимальному графику на основе решения транспортной задачи с увязкой выполнения процессов на объектах.

При планировании движения бригад и звеньев следует стремиться к максимальной равномерности. При этом рекомендуется по возможности размещать рабочих и служащих подрядной организации в заранее арендованных для этих целей квартирах в санитруемом или близлежащих домах. Однако в этих помещениях ни в коем случае нельзя размещать склады, мастерские и т.п.

*Проблемы, возникающие при утеплении зданий без выселения жильцов.*

Проект, предусматривающий устройство систем утепления без прекращения эксплуатации здания, должен быть согласован с лицами, ответственными за эксплуатацию здания. В этом случае в рабочем проекте должны быть предусмотрены следующие подготовительные мероприятия:

- проведение организационного собрания, на котором жильцы будут ознакомлены с намеченными работами и сроками их выполнения;
- обеспечение безопасного подхода к зданию, безопасного входа и выхода из него путем устройства над входом в подъезд деревянного ограждающего козырька;
- исключение проникновения жильцов в места проведения строительных работ путем выполнения ограждения опасных зон;
- обеспечение для жильцов и рабочих отдельных путей эвакуации;
- обеспечение защиты оконных проемов при проведении работ;
- исключение попадания материалов в проходы и проезды;
- обеспечение бесперебойного функционирования водо- и энергоснабжения здания, а также объектов благоустройства;
- обеспечение восстановления и ремонта используемых площадей и объектов после полного окончания работ.

Особое значение имеет охрана имущества жильцов при постоянно установленных конструкциях подмащивания вдоль фасада. Эти вопросы должны быть четко проработаны и согласованы с соответствующими органами.

Даже с учетом описанных выше мероприятий при интенсивном проведении работ не удается полностью избежать повреждения

малых форм и озеленения территории вокруг реконструируемых объектов. Поэтому следует, насколько возможно, сократить сроки проведения работ. Для этого требуются тщательная разработка проектной документации, оптимальное математическое моделирование графиков производства работ на объектах и, конечно, четкое их выполнение.

Частично эта проблема может быть снята при передаче строителям для утепления нескольких компактно расположенных объектов или целого микрорайона, что позволит организовывать работы строительной организации поточным методом. Организация строительного городка для утепления целого микрорайона и для одновременной ее реконструкции даст возможность привлечь значительные трудовые ресурсы, достаточно большой фронт работ приведет к минимализации затрат, значительно уменьшится время утепления каждого из объектов, локализуется воздействие на инфраструктуру микрорайонов.

Наибольшую сложность здесь представляет планирование работ, что связано с согласованием доступа в эксплуатируемые и жилые помещения и их дополнительной охраной. На первое место выходит организационная работа среди лиц, эксплуатирующих помещение. Производитель работ должен начинать подготовительные мероприятия задолго до начала работ. Должны быть организованы собрания, проведена индивидуальная работа среди жильцов и т.п. Результатом подготовки должен стать календарный план работ по каждому из помещений, письменно согласованный с их хозяевами, о времени доступа для выполнения работ. Этот план должен быть увязан в сетевую модель утепления объекта в целом и сводного плана «санации» всех объектов микрорайона. Данная задача сложна сама по себе и будет еще более усложнена неизбежными объективными срывами. В этих условиях подрядчик должен иметь достаточное количество опытных инженерно-строительных работников, способных наладить оперативное управление производством и неукоснительное выполнение запланированных сроков, чтобы избежать цепной реакции невыполнения.

Реконструкцию можно выполнить за 2-3 месяца, пристраивая к жилому дому и надстраивая его легкими небетонными объемными элементами со слоистыми стенками полной заводской готовности либо применяя ячеистобетонные изделия для мансард и надстроек.

**Утепление эксплуатируемых жилых и общественных зданий с выселением жильцов и прекращением эксплуатации этих зданий на время ремонта.** Организация работ этого вида должна применяться при *капитальном ремонте* в комплексе с другими ремонтно-строительными работами. Основным моментом здесь является взаимоувязка технологических процессов в соответствии с совместимостью технологий и сроков выполнения работ.

**Утепление строящихся зданий, чтобы их энергетические характеристики соответствовали нормативам.** Выполнение работ по утеплению конструкций здания совмещается с основными строительными работами.

Организационные мероприятия данного вида должны производиться исходя из условий включения работ по санации в общий план строительства. При этом надо стремиться сохранить срок строительства объекта и в то же время избежать создания пиковых ситуаций в графиках движения рабочей силы и поставке материалов на объект. По возможности календарный план должен быть оптимизирован таким образом, чтобы при организации утепления здания расходы и сроки строительства изменились незначительно, что должно достигаться параллельным методом выполнения различных циклов работ.

#### **4.2. Системы утепления (тепловой санации) фасадов стен (ограждающих конструкций)**

По материалу и конструкциям основная масса стен эксплуатируемых зданий подразделяется:

- на *кирпичные*. Толщина стен в кирпичных домах в основном 51, реже 64 см. Коэффициент теплопередачи  $k$  составляет около  $1,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ :

$$k = \frac{1}{R_T}; \quad R_T = 1,0(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт} - \text{сопротивление теплопередаче};$$

- *блочные*;



- *крупнопанельные*. Коэффициент тепловой проводимости стен полносборных крупнопанельных зданий в зависимости от конструкции панели и года строительства составляет от 0,65 до 1,0 Вт/(м<sup>2</sup> · К) или  $R_T = 1,5 \dots 1,0$  (м<sup>2</sup> · К)/Вт;

- *монолитные*.

**Конструктивно-технологические решения** утепления наружных стен существующих зданий разделяются на 5 групп.

### **1. Фасадные системы с послойной защитой утеплителя.**

*Облицовка (утепление) фасадов плитами утеплителя с последующим оштукатуриванием с применением полимерной армирующей сетки («термошуба» = «термокожа»)\*.*

Этот метод во многих странах чаще всего применяется из-за ограниченных архитектурно-декоративных возможностей отделочных слоев. Существует большое количество проработанных вариантов этих систем, отличающихся друг от друга как материалом утеплителя, так и типами защитных слоев.

В Беларуси нашли применение следующие «штукатурные» системы теплоизоляции:

- **легкие тонкослойные «штукатурные» системы утепления (ЛШС)**. В легких тонкослойных штукатурных системах утепления несущие для системы функции выполняют плиты утеплителя, закрепляемые на подоснове (стене) с помощью клея и анкерных устройств, а суммарная толщина армирующего и декоративно-защитных слоев не превышает, как правило, 15 мм (рис. 4.3);

- **тяжелые штукатурные системы (ТШС)**. В тяжелых штукатурных системах несущие для системы функции выполняют армирующая сетка (как правило, металлическая оцинкованная) и связи, в качестве которых используются дюбели-анкеры с двумя шайбами (в системах с горизонтальными связями) или специальные анкерные устройства с прижимными пластинами (в системах с наклонными связями). Толщина декоративно-защитных слоев в тяжелых штукатурных системах может достигать 50 мм. Отсутствует клеевой слой. Работа выполняется при температуре +5...+25 °С.

---

\* Пособие П1-99 к СНиП 3.03.01-87. Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен методом «термошуба».

Пособие П3-2000 к СНиП 3.03.01-87. Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций жилых зданий.

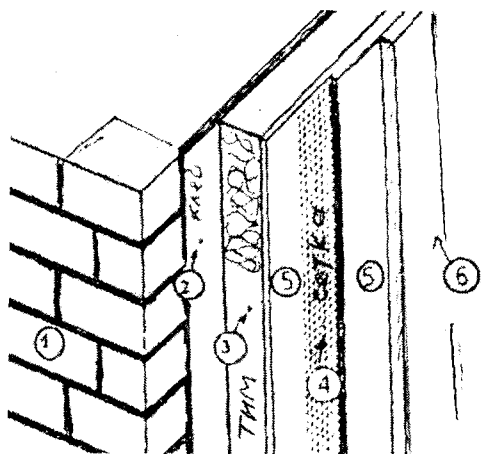


Рис. 4.3. Крепление изоляционного материала к наружной стене с помощью специальных анкеров и клеящего раствора:

- 1 – кирпичная стена; 2 – клеящий раствор; 3 – изоляционный материал (пенополстирольный пенопласт или каменная вата); 4 – армирующая сетка; 5 – основной штукатурный слой; 6 – отделочный слой

И в легких, и в тяжелых штукатурных системах армирующий и декоративно-защитный слои располагаются непосредственно на утеплителе. Их называют также закрытыми.

Из систем, нашедших применение в республике, следует отметить «мокрую» систему «Саратест-100» (Капатект) немецкой фирмы «Лакуфа», польскую систему «Сармат», немецкую систему «Texcolor» и отечественную систему «Радекс» (плиты PAROC). «Texcolor», «Genta-Knauf» и система DRYVIT SYSTEMS USA (Europe) имеют сертификат качества ISO 9001. При этом следует отметить, что наиболее комплексно проработанной из них является система «Капатект», которая включает в себя целый ряд технологий, предназначенных для утепления всех видов ограждающих конструкций, выполняемых на высоком архитектурно-техническом уровне. Однако из-за высоких таможенных сборов применение данной системы для массового утепления, непомерно дорого. В настоящее время, видимо, наиболее оправданно использование и развитие технологий утепления, разработанных в Республике Беларусь. Такой системой является «Радекс». Материалы разработаны институтом БелНИИС, технология – институтом НИПТИС и фирмой

«Радекс». Практически все компоненты этой системы выпускаются на предприятиях Беларуси и имеют приемлемую стоимость. Следует также отметить, что проектная документация разрабатывается на основе теплотехнических расчетов, выполняемых для здания в целом, что делает предсказуемым экономический эффект, получаемый в результате утепления.

Еще есть система ПСЛ.

Технологически все эти «закрытые» штукатурные системы выполняются сходным образом и включают в себя следующие процессы:

- тщательная подготовка фасада (наружной стороны стены) специальными очищающими, грунтовочными и штукатурными составами;
- наклейка к стене раствором (смесью специального клея и цемента) минераловатных или пенополистирольных (ПСБ-С-25) плит утеплителя толщиной не менее 120 мм и дополнительное крепление дюбель-анкерами (дюбелирование).

Дверные, оконные и балконные проёмы *оконтуриваются* негорючим утеплителем (минеральная или каменная вата) той же толщины. Из того же негорючего материала выполняются противопожарные рассечки пенополистирола. Затем на поверхности утеплителя в два приема выполняется защитный базовый слой (обычно толщиной 3...5 мм), который для прочности армируется стеклосеткой и выполняет функции защиты от ветровой нагрузки, воздействия влаги, ультрафиолета и т.п.

Поверх базового слоя после *грунтования* наносится так называемый финишный слой (декоративно-защитный отделочный), который несет чисто *декоративные* функции. В некоторых «штукатурных» системах финишный слой заранее окрашен, в некоторых – окрашивается после нанесения. Фактура финишного слоя бывает самой разнообразной – с рисунком, крупнозернистой, мелкозернистой и т.д.

Следует отметить необходимость тщательного выполнения примыканий системы к *различным проемам*, поскольку фактически стоит задача *герметизации утеплителя*. Одновременно должно выполняться условие обеспечения *паропроницания системы* для паров воды, движущихся из теплых помещений через поры стен наружу в холодное время года. Если водяной пар не будет удаляться из системы, то произойдет конденсация влаги в утеплителе и разрушение утеплителя и внешних покрытий.

Паропроницаемость системы обеспечивается специальными материалами для базового и финишного слоев. Эти покрытия бывают синтетическими (на акриловой основе) и цементно-песчаными. Первые более прочны, хорошо смотрятся, но хуже пропускают пары воды. Поэтому для помещений с повышенной влажностью их применение нежелательно и здесь используют цементно-песчаные покрытия.

Паропроницаемость изоляционной системы должна быть примерно в пять раз больше паропроницаемости изолируемого ограждения.

Особенностью этой системы (ЛШС) является предъявление жестких требований к совместимости применяемых материалов друг с другом исходя из условий гидрофобности, адгезии и работе как единой системе.

Натурные обследования зданий (Калинина Л.С., Протасевич А.М., БГПА, 2000 год), наружные стены которых были теплоизолированы по системе «Термошуба», показали, что в результате ее нанесения повышается сопротивление теплопередаче наружных стен, но при этом изменяется микроклимат помещений. Мнение, что для достижения ожидаемого эффекта достаточно применить утеплитель импортного производства с низкой теплопроводностью, является ошибочным. Обследования показали, что:

а) имеются факторы, снижающие эффективность данной системы наружной теплоизоляции зданий;

б) в отдельных неблагоприятных случаях устройство термошубы не улучшает микроклимат помещений, а способствует существенному повышению относительной влажности воздуха и увлажнению конструкций;

в) вопрос о долговечности термошубы остается открытым.

Теплоизоляцию фасадов зданий следует выполнять *в комплексе* с другими энергосберегающими мероприятиями, необходимость проведения которых устанавливается индивидуально для каждого здания. Такие мероприятия, как ремонт или переоборудование «теплого» чердака, регулирование подачи теплоносителя, отопление лестничных клеток или теплоизоляция внутренних стен, выходящих на лестничную клетку, должны быть проведены предварительно или одновременно с теплоизоляцией стен. Проведенные исследования показали также, что под влиянием эксплуатационных факторов изменяются теплофизические характеристики теплоизоляционных материалов. Так, теплопроводность пенополистирола с  $\rho_0 = 15 \text{ кг/м}^3$

повысились с  $\lambda = 0,037 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$  (в сухом состоянии) до  $0,045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ ; теплопроводность каменной ваты ( $\rho_0 = 200 \text{ кг/м}^3$ ) – с  $0,039 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$  до  $0,046 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ . Влажная каменная вата ( $W = 7 \%$ ) имела теплопроводность  $\lambda = 0,058 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ .

Вопросам тепловой реабилитации ограждающих конструкций эксплуатируемых жилых и общественных зданий в Республике Беларусь уделяется большое внимание. В стране разработан и введен в действие целый ряд нормативных документов по проектированию и устройству тепловой изоляции наружных стен зданий методом «Термошуба».

За последние годы по системе «Термошуба» во многих городах Республики Беларусь выполнены работы по теплоизоляции стен более чем 200 объектов – жилых домов и общественных зданий.

Однако, как показывает практика, качественное выполнение всех технологических процессов по устройству «термошубы» в состоянии обеспечить только специально подготовленные высококвалифицированные рабочие и инженерно-технический персонал.

Следует отметить, что предлагаемая технология производства работ по устройству «термошубы» предусматривает в основном ручные операции при выполнении практически всех строительных процессов (подготовка фасадов здания, а также стен и их поверхностей; крепление плит утеплителя; устройство защитного покрытия и др.), а это приводит к увеличению трудозатрат до 5 чел-ч на  $1 \text{ м}^2$  устраиваемой тепловой изоляции, т.е. это достаточно сложный технологический процесс.

Практика показывает, что относительно невысокие прочностные характеристики поверхности «термошубы» требуют дополнительных мероприятий по исключению возможностей механического повреждения тепловой изоляции стен. Установленный нормативными документами гарантийный срок эксплуатации «термошубы» должен быть не менее трех лет, что, видимо, недостаточно для капитальных зданий.

Согласно имеющейся информации из Республики Польша в зданиях, доутепленных по методу «термошуба» (соединение пенополистирольных плит утеплителя на клею с поверхностью стены), при их эксплуатации свыше 18 лет на внутренних поверхностях стен появилась грибковая плесень, избавиться от которой практически невозможно.

**2. Тяжелая (толстослойная) штукатурная система утепления «Мокрый процесс».** Эта система применяется для утепления фасадов с оштукатуриванием по металлической оцинкованной прямоугольной сетке (ТШС).

Утеплитель в этой системе постоянно находится в сжатом состоянии. Толщина штукатурки – 25...30 мм, может быть до 50 мм (2 или 3 слоя).

Это большая масса: 30...40 кг/м<sup>2</sup>.

Но вся эта масса (сетка и штукатурка) крепится непосредственно к стене (т.е. к основе) через подвижные шарнирные анкеры или кронштейны, а не к утеплителю.

Большая толщина штукатурки позволяет:

- компенсировать малые неровности, шероховатости, локальные повреждения стен;
- разнообразить архитектурную выразительность фасадов,
- применять полужесткие, а также менее прочные теплоизоляционные плиты. Система применяется в новом строительстве, при реконструкции.

Белорусский вариант ТШС – система «ТЗСК» (тепловая защита строительных конструкций), «Стройкомплекс» ОАО и «Радекс».

Система пригодна для любого объекта с высотой до 22 м, применяются металлическая сетка на дюбелях, цементно-песчаная штукатурка,  $h = 25$  мм. По сравнению с применяемыми в Беларуси аналогичными системами теплозащиты ТЗСК имеет следующие преимущества:

- не требует тщательной подготовки фасадов зданий и сложных клеевых технологий;
- применяются материалы белорусских изготовителей;
- меньшие требования к квалификации рабочих.

Основной недостаток – недостаточная изученность «поведения» данной системы в отечественных условиях, а также то, что ее применение имеет сезонный характер, поскольку включает мокрые процессы, которые могут проводиться при температуре не ниже +5 °С.

**3. Система утепления на основе комплексных материалов или комплексные системы утепления. Облицовка фасадов панелями утеплителя с готовым декоративно-защитным слоем.**

Суть этих систем сводится к следующему – утеплитель и декоративно-защитный слой предварительно склеиваются в единый

«пирог», монтаж которого проводится блоками. Толщина декоративно-защитного слоя зависит от противопожарных требований, предъявляемых к зданию, и не должна превышать 50 мм.

Крепление двухслойных блоков к стене должно быть выполнено при помощи клея, каркаса или специальных прижимных анкерных устройств и связей.

При использовании блоков с тяжелым декоративно-защитным слоем передачу нагрузки на стену организуют поэтажно. Блок следует укладывать на кладочном растворе с креплением к стене с помощью анкерных связей («шпор») в каждом ряду.

Металлические связи изготавливают из арматурной проволоки диаметром 4 мм классов Вр-1, В-1 и В-1<sub>0</sub>.

Металлические элементы должны быть защищены от коррозии в соответствии с требованиями СНиП 2.03.11.

В настоящее время потребителю доступны блоки «Теплоэффект-2» (разработчик – «Минскпроект»), состоящие из пенополистирола и легкого бетона толщиной до 5 см. Применение этой системы ограничивается зданиями, для которых достаточен небольшой слой утеплителя.

Еще один отечественный вариант данной системы – «Изофасад» (разработчик НИПТИС). Теплоизоляционные плиты изготавливаются следующим образом: на поддон выкладывается керамическая плитка, в швы засыпается песок, поверху напыляется полиуретан либо полистирол, который затем вспенивается. При вспенивании плитки склеиваются. К фасаду плиты крепятся анкерами. В настоящий момент документация на эту систему полностью разработана, однако производство плит «Изофасад» пока не освоено. Оптимальное применение данных плит, учитывая использование в их производстве горючих материалов, – малоэтажное строительство, в том числе коттеджное, где нет пожарных ограничений.

Система позволяет упростить работы непосредственно на объекте, исключить «мокрые» и непрерывные процессы, однако отличается более сложной системой крепления и соответственно более высокой стоимостью. Наиболее полно метод разработан в системе «Капатект» фирмы «Лакуфа».

#### 4. Система с вентилируемым фасадом. Система утепления с облицовкой «на отnose» – «сухой» метод.

*Суть метода.* Вентилируемый фасад представляет собой конструкцию, состоящую из облицовочного фасадного экрана (плит или листовых материалов), утеплителя и под облицовочной конструкции, которая крепится к стене таким образом, чтобы между облицовочным экраном и утеплителем оставался воздушный промежуток не более 40 мм.

Общим для этой системы является то, что утеплитель крепится к стене механическим способом (дюбелями), а применяемая жесткая облицовка устраивается на специальном каркасе с образованием зазора между мягкой плитой утеплителя и облицовкой (рис. 4.4).

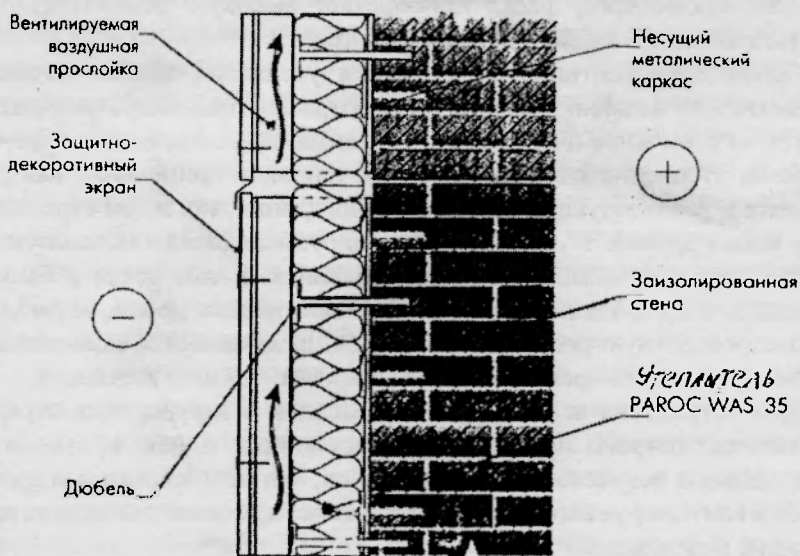


Рис. 4.4. Принцип устройства системы вен-Си-А с вентилируемым фасадом

Воздушный зазор в вентилируемом фасаде работает по принципу действия «вытяжной трубы»: из стены (при этом необходимо исключить атмосферное воздействие на стену) и утеплителя «высасывается» влага, которая удаляется наружу посредством движения воздуха в прослойке снизу вверх. Благодаря этому конструкция остается сухой, сохраняя свои теплоизоляционные свойства.



*Преимущества.* Вентилируемый фасад дает возможность компенсировать термические деформации несущей стены и предотвратить разрушение фасада, существенно повысить звукоизоляцию здания.

Монтаж вентиляруемый фасада может проводиться в любое время года (исключены «мокрые» процессы), при этом не требуется предварительного выравнивания несущей стены. В качестве утеплителя может применяться помимо импортной и отечественная минеральная вата.

Вентилируемый фасад – единственная система, позволяющая применять практически любые современные фасадные материалы (панели из камня, стекла и других материалов, виниловый сайдинг, металлические профилированные листы и т.д.), благодаря которым фасад служит до 25...50 лет, в зависимости от применяемых материалов. Кроме того, фасад приобретает высокую ремонтпригодность: панели облицовки легко меняются.

Применение вентиляруемых систем утепления зданий началось сравнительно недавно. Однако эта подотрасль стройиндустрии развивается во всем мире очень высокими темпами, а сами вентиляруемые системы утепления находят все более широкое применение как при ремонте и реконструкции существующих зданий, так и при строительстве новых зданий. В основном вентиляруемые фасады используются в общественных, административных зданиях (в том числе в банках, офисах и т.п.), а также при реконструкции жилых домов, играющих градостроительную роль, т.е. к которым предъявляются повышенные требования с точки зрения эстетических качеств и долговечности.

Для устройства вентиляруемых фасадов в зарубежных странах достаточно широко применяют облицовочные плиты и панели из природных и искусственных материалов, металла, пластика и др.

Для вентиляруемых фасадов, в частности, можно применять следующие материалы:

- панель «Marmoroc»,* изготовленную из мраморной крошки и цемента;
- сайдинг металлопластиковый,* изготовленный из металлопласта (сталь оцинкованная с полимерным покрытием толщиной 0,4-0,55 мм);
- сайдинг ПВХ* (поливинилхлоридный);
- сайдинг алюминиевый;*
- алюминиевые панели,* которые могут быть практически любого цвета и различной криволинейной формы;
- керамика* – различные варианты цветов и фактуры в морозо-, атмосферо- и пожаростойком исполнении;

*фибровый бетон* или натуральный камень (гранит, мрамор);  
*многослойные прессованные* под высоким давлением композиционные листы, *платинированные* алюминиевые листы;  
*фанера, цементно-песчаные, цементно-стружечные* плиты;  
*стеклофибробетон, декоративное* стекло.

Научно-исследовательский проектно-технологический институт стройиндустрии (НИПТИС) Республики Беларусь разработал вариант с мелкоштучной бетонной плиткой. Все компоненты этой системы выпускаются на территории Беларуси.

Многообразие цветовых и текстурных решений при выборе фасадного экрана позволяет существенно преобразить внешний вид здания, сделать его облик современным и стильным.

С учетом этого в Финляндии и Швеции вентилируемые системы утепления в настоящее время используются более чем на половине объектов гражданского назначения. В Республике Беларусь они всё чаще начинают применяться при строительстве, реконструкции и ремонте зданий. Важной функцией навесного экрана является формирование вентилируемой зоны, которая играет важнейшую роль в системе теплоизоляционных функций здания. Вентиляция предохраняет всю несущую конструкцию от внешних температурных колебаний в течение суток и отводит водяные пары и газы, выделяемые в процессе эксплуатации зданий.

Жилые помещения и ограждающие конструкции «дышат», т.к. есть беспрепятственная диффузия водяного пара.

«Точка росы» перемещается во внешний слой теплоизоляции, что исключает увлажнение внутренней поверхности стены и создает благоприятный микроклимат в помещении. Увеличивается срок эксплуатации здания, т.к. исключаются циклическая замораживаемость и оттаиваемость стены. Длительное время сохраняется прекрасный внешний вид здания. Предоставляется широкое поле для архитектурного творчества.

В случае применения металлических каркасов обеспечивается долговечность стеновых конструкций.

Отсутствие клеевых соединений позволяет избежать особенно тщательной подготовки поверхностного фасада и делает срок службы утепляющей композиции сопоставимым со сроком службы здания.

Следует отметить, что в ряде случаев из-за особенностей декоративной отделки поверхностного фасада или на фасадах сложной формы данный метод может оказаться единственно применимым.

Максимально дешевый вариант этой системы с минимальными потерями качества – это обычный деревянный каркас с регулируемой вентиляционной зазора из фиксированных по толщине деревянных брусков, а в качестве облицовки используют сайдинг (пластиковый или деревянный).

В среднем цена по рынку может составить от 100 долларов за 1 м<sup>2</sup>, хотя есть и более дешевые решения.

Стоимость облицовочных материалов может быть весьма высокой. С организационно-технологической точки зрения в этом методе привлекают следующие моменты;

- доступность применяемых материалов (мягкая дешевая изоляция);
- возможность организации поточных методов производства работ;
- не требуется отселение жильцов;
- утеплять можно с вышек, люлек;
- не надо огораживать большие площади;
- не надо создавать большие приобъектные склады, т.е. минимальное воздействие на инфраструктуру района;
- максимальное уменьшение накладных и прочих расходов, т.е. относительно низкая стоимость.

Примеры утепленных зданий в г. Минске: Бизнес-центр по Московскому шоссе, McDonalds на Привокзальной площади, автозаправка на перекрестке ул. Брилевской и Аэродромной, жилые дома в Могилевской области.

*Недостатки.* Основной недостаток слабая изученность применения вентиляционных фасадов в реальных условиях эксплуатации в Беларуси. Нет ни достаточной научно-испытательной базы, ни нормативно-технических документов. Некоторые эксперты, в частности, указывают на опасность обрушения такого рода конструкций в зимних условиях из-за намерзания льда с внутренней стороны облицовки (при расчете прочности конструкции об этом почему-то забывают). Другой нюанс – при использовании минераловатных материалов низкой плотности их необходимо защищать специальными ветрозащитными материалами (что удорожает систему).

Что касается стоимости вентиляционного фасада, то при использовании современных облицовочных материалов она может в несколько раз превышать стоимость утепления легким или тяжелым штукатурным методом.

**5. Монолитная система утепления, нанесенная способом торкретирования (напыления, набрызга).** Имеется нормативный документ РСН 74-92 «Устройство полистиролбетонной изоляции ограждающих конструкций зданий методом торкретирования». Метод «Пралеска-ПСБ» (рис. 4.5).

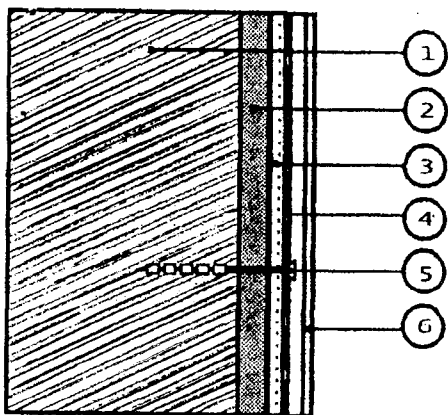


Рис. 4.5. Метод «Пралеска-ПСБ»:

1 – утепляемая поверхность; 2 – полистиролбетон; 3 – выравнивающий слой «Пралеска ССМ 30»Н, ПМ1 СС; 4 – защитно-армируемый слой «Пралеска ССМ 85» КС с армирующим материалом – стеклотетка ССШ 160; 5 – дюбель-анкер; 6 – защитно-отделочный слой «Пралеска ССМ36» Н, ПМ1 СС1

Данный метод предусматривает:

- 1) крепление металлических сеток или каркасов на фасаде здания;
- 2) последующее нанесение монолитного полистиролбетона (т.е. смеси пенополистирола и цемента), выдерживание его до набора проектной прочности и нанесение защитного штукатурного покрытия. Наиболее целесообразно применять этот метод при толщине утеплителя до 120 мм, т.к. в этом случае нет необходимости в использовании сварных каркасов и опалубки. При большей толщине утеплителя устанавливается опалубка и резко возрастает трудоемкость работ, а следовательно, и стоимость.

Поверхность полистиролбетона выравнивается с применением штукатурной смеси. Далее для предотвращения трещинообразования при воздействии деформационных нагрузок в процессе эксплуатации здания по выровненной поверхности выполняется защитно-армируемый слой с механическим креплением армирующего

материала (стеклосетка ССШ160) с применением клеящего состава и дюбель-анкеров с металлическими сердечниками. После этого поверхность защищается слоем защитно-отделочной штукатурки.

Данная технология должна развиваться в направлении применения более эффективных монолитных утеплителей. Сегодня НИПТИС совместно с НИИСМ активно ведет исследования по возможности применения в качестве монолитного утеплителя *вспененного полуретана*. Характеристики полученного материала позволяют говорить о возможном дальнейшем развитии данного метода на территории Республики Беларусь. Об эффективности технологии можно будет говорить по завершении исследований, разработки карт процессов, средств механизации и организации рабочих циклов.

Некоторое время в Беларуси монолитная система активно применялась, однако с недавних пор была вытеснена с рынка *легкими штукатурными системами* (ЛШС). Специалисты объясняют это невозможностью обеспечить равномерное нанесение компонентов раствора на стену (из пушки летит либо цемент, либо полистирол) и рядом прочих мелких недостатков.

Разделение систем утепления в зависимости от типов и особенностей зданий вытекает из простых логических рассуждений. Давно известно, что количество влаги, попадающей на фасад в районе парапета, карниза, цоколя, в несколько раз превышает показатели водонасыщения в центре любого другого участка стены, но этот факт до сих пор оставался не учтенным в технологиях отделки фасадов.

Последние исследования ученых показывают, что вихревые потоки, а значит, и нагрузка на наружные слои систем утепления выше 10...12 этажей возрастают на порядок, однако и этот факт до сих пор не находил отражения в предлагаемых на рынке системах утепления.

И, наконец, любой опытный конструктор согласится, что подходы к утеплению блочной «хрущевки», монолитного 16-этажного жилого дома и панельного административного здания должны быть разные. Каждому из вышеперечисленных типов домов присущ определенный набор конструктивных и архитектурных особенностей. Поэтому и к выбору систем утепления этих домов необходимо подходить дифференцированно.

Монолитная система утепления применяется для устройства трещиностойкого покрытия фасадов зданий, выполненных из полистиролбетона, нанесенного на стены методом торкретирования, а также декоративного оформления фасадов зданий.

#### **4.2.1. Системы утепления фасадной стены здания с внутренней стороны ограждающей конструкции (внутренняя теплоизоляция)**

*Суть метода.* Утеплитель (минеральная вата, пенополистирол) крепится непосредственно к стене с внутренней стороны, далее наносится защитно-отделочный (штукатурка) либо монтируется облицовочный слой (гипсокартон, дерево и др.).

*Преимущества.* В ряде случаев данный метод утепления может быть единственно возможным, особенно в тех случаях, когда нельзя менять внешний облик здания (например, имеющего историческую ценность). Во-вторых, производство работ по устройству теплозащиты может производиться в любое время года; при этом в отличие от систем наружного утепления не требуются средства подмащивания (леса, подъемники). Потери тепла частично уменьшаются.

*Недостатки.* К данному способу следует относиться с большой осторожностью по следующим причинам теплофизического характера. Вследствие разности парциальных давлений водяного пара с наружной и внутренней стороны в зимний период парообразная влага движется через ограждающую конструкцию наружу. Если на своем пути эта влага после прохождения через паропроницаемые слои теплоизоляции наталкивается на более плотные слои, то возможно накопление влаги в теплоизоляционном слое с последующим ухудшением его теплоизоляционных свойств и возможным появлением грибка на внутренней поверхности стен. Кроме того, основная часть стены после такой реконструкции будет работать в менее выгодных температурных условиях. Чтобы избежать такого явления, необходимо устройство надежного пароизоляционного слоя на внутренней поверхности ограждающей конструкции, что сделать очень трудно. Возможность промерзания стен остается.

Другой недостаток связан с тем, что перегородки и перекрытия, жестко связанные с несущей стеной и обычно не имеющие отсекающих теплоизолирующих вкладышей, образуют по каркасу здания многочисленные тепловые мостики, через которые из здания уходит тепло. И, наконец, утепление изнутри существенно уменьшает площадь помещения из-за увеличения толщины стены.

*Область применения.* Из-за указанных недостатков этот метод утепления в Беларуси практически не применяется.

Метод внутреннего утепления применяется в тех случаях, когда невозможно или нежелательно выводить теплоизоляцию на фасад.

Это относится:

- к фасадам зданий, представляющих архитектурную и историческую ценность;
- фасадам, которые не могут нести дополнительную нагрузку от теплоизоляции по конструктивным соображениям;
- к ограждающим конструкциям помещений, к которым нет доступа снаружи (например, помещений, расположенных в цокольных этажах).

Одним из важнейших преимуществ системы внутреннего утепления является то, что помещения быстро прогреваются и надолго сохраняют тепло (как в бане), но ограждающая конструкция не может его аккумулировать.

Утепление стен изнутри осуществляется:

- плитным утеплителем;
- теплоизоляционной штукатуркой;
- напылением утеплителя.

Для внутреннего утепления помещений с повышенным уровнем влажности (ванных комнат, кухонь, санузлов) может использоваться экструзионный пенополистирол «Пеноплэкс».

Лицевая отделка ППС плит может выполняться при помощи различных материалов:

- штукатурок;
- гипсокартона;
- деревянных панелей и т.д.

Этот материал создает гладкую ровную подоснову для керамической плитки. Плитка крепится клеем.

Применение пеноплэкса (экструдированного ППС) в помещениях с повышенным уровнем влажности позволяет избежать образования конденсата на стенах.

#### **4.2.2. Методы утепления покрытий**

Существует несколько способов утепления покрытий зданий:

1. *Утепление покрытия неэксплуатируемого чердака*, т.е. чердачного перекрытия над последним этажом (рис. 4.6).

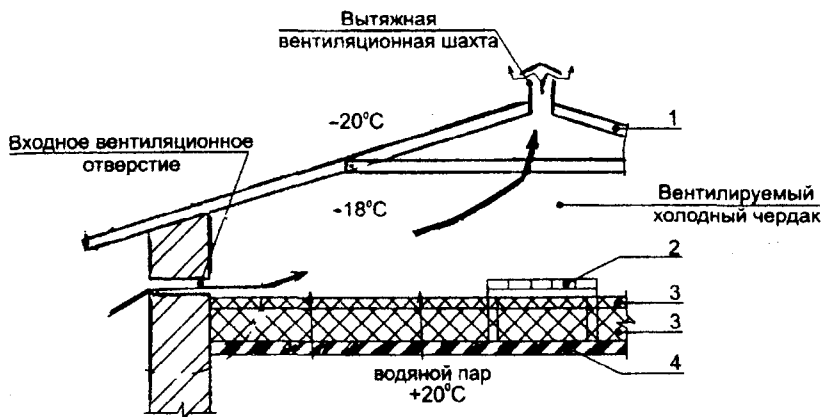


Рис. 4.6. Утепление покрытия в вентилируемом чердаке:

- 1 – неутепляемая стропильная кровля; 2 – при необходимости настил из досок;
- 3 – ROCKVIN, SUPERROCK – жесткая каменная вата;
- 4 – перекрытие над последним этажом (массивное)

Проще всего утеплять покрытия зданий, имеющих неотапливаемые чердачные помещения. Утеплитель может быть уложен на существующий или последний заменен более эффективным.

Выбор метода осуществляется после тщательного обследования существующего чердачного перекрытия. Должна быть определена несущая способность плит, проверены прочность и допустимые прогибы при дополнительной нагрузке.

Важное значение имеет состояние слоя пароизоляции под утеплителем, в случае повреждения она (пароизоляция) должна быть заменена. Состояние пароизоляции можно косвенно определить по влажности существующего утеплителя и в случае его переувлажнения пароизоляцию следует заменить. В качестве дополнительного утеплителя здесь могут применяться дешевые засыпные утеплители (в случае достаточной несущей способности плит), жесткие минераловатные утеплители типа «Isover» или плиты «пеноплэкс».

Не допускается компактного хранения расходуемого материала на перекрытии. Подъем сыпучих и плитных материалов рекомендуется осуществлять с помощью подъемников, плитные материалы допускается подавать лебедками. Для опускания старых материалов следует использовать подъемники или специальные желоба.



### *Способы дополнительного утепления кровли*

Дополнительное утепления применяется на плоских кровлях домов массовых серий.

Есть две системы тепловой санации кровель: со снятием старого тепло- и гидроизоляционного слоев или с их сохранением.

Если несущая способность покрытия достаточна, то дополнительный утеплитель укладывается на существующий кровельный ковер.

Работы выполняют обычными методами и средствами механизации. В качестве плит утеплителя рекомендуются жесткие минераловатные плиты.

С помощью минераловатных жестких плит можно просушить практически любую крышу или кровлю.

Через отверстия в старой кровле с помощью дефлектора (флюгарок) посредством вентиляции происходит выход влаги из теплоизоляционного массива. В течение теплого периода удается просушить всю кровлю.

Если кровля буквально перенасыщена влагой, имеет смысл применять теплоизоляционные плиты с вентиляционными пазами на внутренней стороне, т.к. они еще эффективнее удаляют влагу.

Влажный воздух движется по пазам и каналам из-за разницы давлений, создающихся при нагреве вентилируемых участков.

Скорость движения воздуха в пазах очень мала (0,04...0,15 м/с), при этом теплопотери у плит с пазами на 5 % выше, чем у плит без пазов.

Далее по теплоизоляционному слою необходимо создать гидроизоляционный ковер (слой), обладающий высокой механической прочностью.

Оптимальными здесь являются битумно-полимерные кровельные покрытия на негниющей основе. Это различные типы наплавленных рулонных материалов («Бипол», «Изоэласт» и др.) с применением СБС (стирол-бутадиен-стирола) или АПП (атактического полипропилена). Выполняется двухслойное или однослойное покрытие кровли.

### *Горелки открытого пламени для приклеивания недопустимы!*

Работы рекомендуется производить специальными инфракрасными нагревателями. Метод наплавления самый чистый, т.к. не требует разогрева битума, вызывающего загрязнение атмосферы воздуха в городах и большие расходы топлива.

Выполняются также работы по замене утепляющего слоя кровли (нормативный коэффициент сопротивления теплопередаче  $R = 3,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ ) с устройством новой пароизоляции и нового двухслойного гидроизоляционного ковра, уложенного по асфальто-бетонной или цементной стяжке.

В случае снятия утепления старой кровли нижним слоем кровли обычно является специальная пароизоляционная прослойка, укладываемая на несущую конструкцию.

Эта прослойка выполняется из полиэтиленовой пленки, битумного ковра или алюминиевой фольги, двух слоев мастики «Аутокрин-Эласт» с промежуточным армированием стеклотканью ТСП-120-А.

Несущая конструкция и пароизоляционная прослойка должны создавать препятствие проникновению паров из воздуха при понижении его температуры.

Эта прослойка не дает образовавшемуся конденсату переходить из несущей конструкции в утеплитель и обратно.

На пароизоляционную прослойку укладывается основной слой – теплоизоляционный. Этот слой может состоять из одного или двух подслоев из минераловатных плит.

Нормативный коэффициент сопротивления теплопередаче должен быть более  $3,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ . На теплоизоляцию укладывается 2-слойный гидроизоляционный ковер по асфальтобетонной или цементной стяжке. По коврам выполняется противопожарный защитный слой гравия, втопленный в мастику.

#### ***4.2.3. Методы утепления здания ниже нулевой отметки***

Обычно применяется утепление наружной стороны цоколя и стен фундамента.

*Утепление наружной стороны цоколя* выполняется на глубину промерзания, чаще до фундаментной плиты. Наиболее полно метод разработан фирмой «Лакуфа» в системе «Капатект». Технология предусматривает создание утепляющего, гидроизоляционного и декоративного слоев.

Система применима в случае:

а) небольшого периметра здания;

б) свободного доступа к нему;

в) отсутствия грунтовых вод, т.к. водоотвод приведет к удорожанию работ.

Решение утеплять цоколь этим методом должно быть обосновано экономическим расчетом. Чаще этот метод используется в случае отапливаемых цокольных этажей или когда другие способы неприемлемы.

Стены фундамента зданий тоже должны участвовать в энергосбережении и обеспечивать длительную сохранность зданий.

Строители должны выполнить теплоизоляцию, дренаж и механическую защиту наружных стен подвальных помещений.

В идеале это должно быть предусмотрено на стадии проектирования.

При отсутствии теплоизоляции по периметру фундамента до 20 % всех теплопотерь приходится на зону отапливаемого подвала (рис. 4.7).

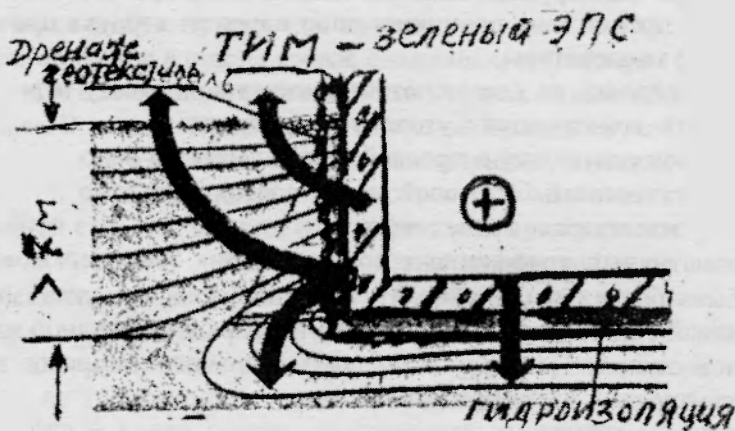


Рис. 4.7. Потери тепла через подвал

Подвальные отапливаемые помещения в настоящее время могут использоваться в качестве:

- комнат для гостей;
- залов для приемов;
- помещений для любительских занятий или мастерских;
- в цоколе могут быть сауна, бассейн.

Следует иметь в виду, что комфортный микроклимат достигается без потерь энергии только при условии, что все соприкасающиеся с землей элементы здания будут теплоизолированы.

СНБ 2.04.01.97 «Строительная теплотехника» требует предусматривать утепление помещений, примыкающих к грунту.

Наиболее выигрышна сплошная наружная теплоизоляция подвала (теплоизоляция периметра) – т.е. его элементы (стены и пол), которые находятся в соприкосновении с грунтом.

Укладка теплоизоляции снаружи от гидроизоляции дополнительно защищает ее и элементы сооружения от механических и термических воздействий.

Если наряду с теплоизоляцией требуется дренаж грунта вокруг здания, то одним из возможных решений может быть применение нетканых геотекстилей на основе бесконечного полипропиленового волокна «Тураг» производства фирмы «Du Pont» (США).

Для теплоизоляции периметра лучше всего подходит специальный экструдированный зеленый ППС (пенополистирол) (торговая марка «Styrodur» производства фирмы BASF AG), отличающийся однородной и полностью замкнутой структурой ячеек. Можно также применить Стайрофоум АйБи.

Эти материалы особенно выгодно использовать для зоны периметра, где элементы здания вследствие контакта с грунтом должны отвечать особо жестким требованиям:

- 1) по влагонепроницаемости;
- 2) по теплоизоляции;
- 3) по стойкости к старению;
- 4) по прочности;
- 5) по устойчивости к циклам замораживания-оттаивания.

Благодаря замкнутой структуре ячеек плиты из зеленого экструдированного пенополистирола обладают рядом достоинств:

- 1) низкой теплопроводностью:  $\lambda = 0,034 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ;
- 2) высокой прочностью при сжатии, позволяющей выдерживать значительное давление грунта и использовать материал на большой глубине заложения:  $R_{\text{сж}} > 0,3 \text{ МПа}$ ;
- 3) стабильностью размеров;
- 4) невосприимчивостью к влаге и практически полным отсутствием водопоглощения:  $W < 0,1 \%$ ;
- 5) неподверженностью процессам старения;
- 6) легкостью обработки.

Опыт применения показал, что материалы «Styrodur» надежны при глубинах заложения, превышающих 7 м (в зависимости от марки), и при длительном контакте с водой под давлением.

Содержащиеся в продуктах «Styrodur» вспениватели отвечают требованию нормативов ФРГ, в частности постановлению о запрете на использование фторхлоруглеводородных соединений от 6 мая 1991 г. и Монреальского протокола.

Если наружные стены подвала нуждаются только в теплоизоляции, а дренаж не требуется либо он осуществляется обычным методом (например, через фильтрующий слой гравия), то в этом случае эффективно использование плит «Styrodur» 3035S поверх гидроизоляции, что обеспечивает дополнительную механическую защиту.

#### ***4.2.4. Утепление полов первого этажа эксплуатируемых зданий***

Полы играют существенную роль в сохранении тепла внутри зданий. В обычном доме потери тепла через полы без теплоизоляции могут достигать 20 % от общего объема теплопотерь, поскольку через плохо изолированные полы тепло отводится в грунт, в неотапливаемые помещения и в окружающее пространство. Нельзя забывать о возможной конденсации влаги на низкотемпературной поверхности полов и в мостиках холода в местах сопряжения стен и полов. Следствием конденсации может стать появление грибковых организмов и плесени, разрушительно действующих на строительные конструкции и оказывающих неблагоприятное влияние на здоровье находящихся в помещении людей.

Из вышесказанного следует вывод о том, что полы жилых домов, расположенных в непосредственной близости от грунта, находящиеся в контакте с наружным воздухом либо отделяющие отапливаемые помещения от не отапливаемых, должны быть теплоизолированы.

Дополнительное утепление рекомендуется выполнять совместно с капитальным ремонтом здания или если предусмотрен цикл по замене полов. Дополнительные мероприятия в ремонтно-строительном цикле здесь не предусматриваются, а лишь изменяется толщина или вид укладываемого утеплителя.

При утеплении полов первого этажа старых зданий часто возникают такие проблемы:

- невозможность значительного увеличения конструктивной высоты перекрытия;
- неспособность плиты перекрытия нести дополнительную нагрузку.

Для уменьшения толщины пола в качестве утеплителя должен быть применен эффективный материал. На перекрытие укладывается теплоизоляция, затем лицевой слой из ДСП. Это для пола только 1-го этажа (рис. 4.8).

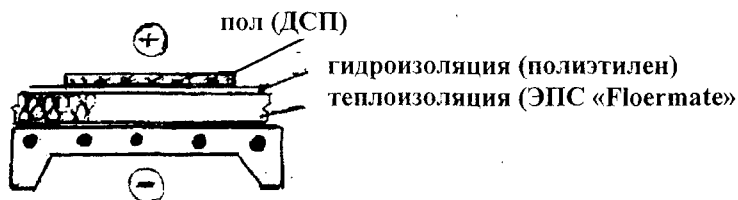


Рис. 4.8

#### 4.2.5. Утепление низа подвального перекрытия

Утепление надподвального перекрытия осуществляется снизу минераловатными полужесткими плитами с последующим их оштукатуриванием. Поверхность потолка подвала очищается, выполняется ее сплошное выравнивание штукатурным раствором. На подготовленном основании укрепляются полужесткие минераловатные плиты типа «Isover» или «Белтеп», толщина определяется расчетом. Крепление осуществляется с помощью винтовых дюбелей, устанавливаемых в заранее высверленные отверстия, и металлической сетки. Затем поверхность покрывается наметочным слоем штукатурного раствора и грунтовым слоем с последующей затиркой.

Кроме улучшения теплотехнических характеристик достигается существенный шумоизоляционный эффект.

Метод применим при отсутствии эксплуатируемых подвальных хозяйственных помещений небольшого размера. В случае их наличия более экономичным является их частичная или полная разборка, а затем восстановление. В любом случае эксплуатация этих помещений должна быть полностью прекращена на время выполнения работ.

### 4.3. Многослойные фасадные системы. Теплые современные наружные стены

В конструктивных решениях наружных стен зданий с повышенным уровнем теплозащиты (сопротивление теплопередаче)  $R = 3,38...3,61$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ) могут быть использованы следующие мелкоштучные стеновые материалы:

- кирпич керамический;
- кирпич силикатный;
- высокопустотные вибропрессованные бетонные блоки, производимые на линиях «Besser-Бел»;
- блоки ячеистосиликатные.

Повышение теплосопротивления наружных стен влечет за собой либо коренные изменения в конструктивных решениях и технологии строительства (переход на многослойную конструкцию стены), либо существенное изменение теплотехнических характеристик стенового материала. Возможен и комбинированный вариант, объединяющий оба способа. Конструкции, относящиеся ко второму способу, используются, как правило, в новом строительстве.

Одним из наиболее часто используемых материалов в белорусском и российском строительстве является кирпич. Существенные преимущества кирпича:

- 1) его мелкогабаритность, что позволяет вести строительные работы без привлечения техники;
- 2) прочность и долговечность материала: стена толщиной 25 см (1 кирпич) способна нести любую равномерно распределенную нагрузку, возникающую в одно- и двухэтажных домах от вышерасположенных конструкций, в том числе и железобетонных перекрытий, а срок службы кирпичных стен при надежных фундаментах превышает 100 лет;
- 3) такие стены имеют большую тепловую инерционность, они медленно нагреваются и так же медленно остывают. В кирпичных домах температура внутри помещения имеет незначительные суточные колебания, что является их достоинством;
- 4) поверхность кирпича не надо отделывать.

Архитектурные возможности зданий обеспечиваются керамическим кирпичом в большей степени, чем ячеистым бетоном. Но кирпич, обладая высокой прочностью  $R_{сж}$ , по своим теплозащитным

качествам ( $\lambda$ ) уступает многим другим стеновым материалам. Однослойная стена в 2,5 кирпича дает  $R_t = 1,1$  ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт.

Так, 1700 мм кирпичной кладки из полнотелого кирпича по своим теплоизоляционным свойствам равнозначно 600 мм ячеистого бетона, 350 мм дерева и 100 мм минеральной ваты или полистирольного пенопласта. В СНБ 2.04.01-97 «Строительная теплотехника» указаны высокие значения нормативного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций. Так, при новом строительстве крупнопанельных, каркасно-панельных и объемно-блочных зданий  $R_{t \text{ норм}} = 2,5$  ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт, стен из штучных материалов –  $R_{t \text{ норм}} = 2,0$  ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт. При реконструкции для наружных стен  $R_{t \text{ норм}} = 2,0$  ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт.

В России этот показатель назначается в зависимости от градусо-суток отопительного периода и увеличен по сравнению со старой редакцией СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» примерно в 3,3-3,4 раза. В Литве нормативное сопротивление для стен составляет 3,5 ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт, в Германии 2,0 ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт и выше, в Финляндии этот показатель для гражданских зданий составляет 3,57 ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт, а в Эстонии он равен примерно 6,25 ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт, в Канаде – 3,0...4,1; Швеции – 2,4...3,5, Дании – 3,3...5,0 ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт. Нормативное сопротивление теплопередаче для белорусских наружных стен должно быть увеличено как минимум до 3,5 ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ )/Вт. Толщина эффективного утеплителя должна быть не менее 100 мм. Пора привыкать к таким размерам, не забывая выполнять соответствующие расчеты.

Повышенной теплозащитой обладает трехслойная конструкция, включающая:

- внутренней несущий слой;
- средний теплоизолирующий слой;
- наружный облицовочный слой.

#### **4.3.1. Системы с утеплителем внутри ограждающей конструкции**

*Суть метода.* Это трехслойная конструкция, чаще всего представленная трехслойными панелями. Кроме этого, возможен следующий вариант ее выполнения: внутренний и лицевой слои стены



выполняются из различных конструкционных материалов – от дерева до штучных каменных материалов (кирпича или блоков). В качестве утеплителя чаще всего применяются минеральная вата или пенополистирол (рис. 4.9).

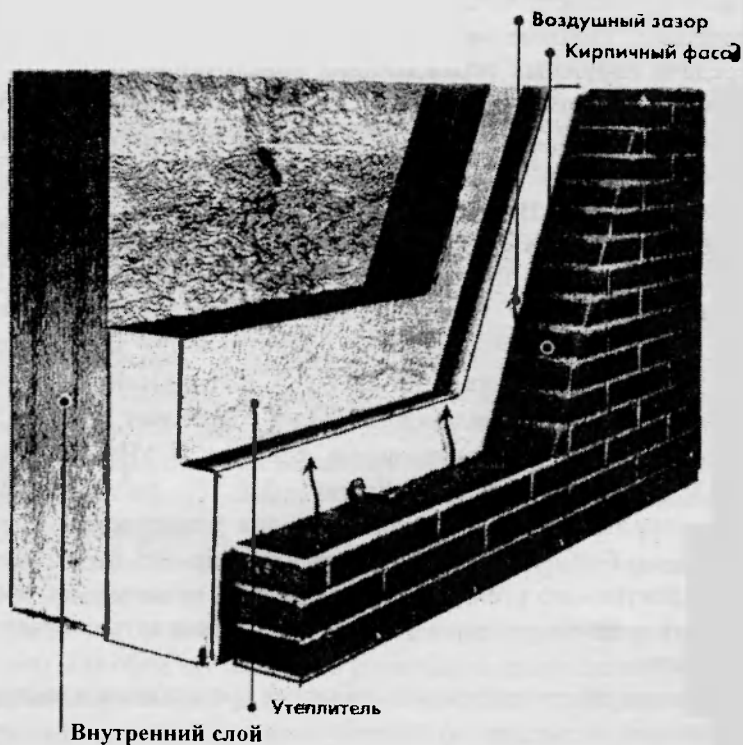


Рис. 4.9. Система с утеплителем внутри ограждающей конструкции

*Преимущества.* Небольшая толщина трехслойных стен (по сравнению с однородными) и соответственно их масса (а значит, меньшие требования к фундаменту); высокая тепловая эффективность и огнестойкость конструкции.

*Недостатки.* Этот метод предъявляет повышенные требования к утеплителю по таким параметрам, как устойчивость к деформациям и влагостойкость. Водяной пар, в результате диффузии попадающий в толщу конструкции, может привести к прогрессирующему

отсыреванию утеплителя и постепенной потере им своих теплоизолирующих свойств. Для предотвращения этого явления применяется пароизоляционный слой и/или устраивается воздушный вентиляционный зазор. Необходимость и местоположение паробарьера определяются расчетом. Иногда паробарьер устраивается перед теплоизоляционным слоем стены.

Еще один нюанс: связи между несущей и наружной стеной в данной конструкции с точки зрения теплотехники являются «мостиками холода» и могут значительно снизить термическое сопротивление всей ограждающей конструкции. Больше всего тепла теряется через жесткие кирпичные связи, меньше всего – через специальные стеклопластиковые.

*Область применения.* Утепление данным методом применяется в Беларуси очень широко как при строительстве индивидуальных жилых домов, так и крупнопанельных домов массовых серий (внутри железобетонных конструкций в заводских условиях закладывается пенополистирольный утеплитель).

Разделение функций по основным элементам в трехслойной стене позволяет более рационально использовать конструкционные и теплоизоляционные материалы и достичь оптимальных показателей по несущей и теплоизоляционной способности наружной стены.

С целью удовлетворения новым требованиям к теплосопротивлению необходимо применять следующие эффективные теплоизоляционные материалы (ТИМ):

- пенополистирол экструдированный;
- минеральную вату;
- пенополистиролбетон, пеностекло;
- пено- и газобетон (ячеистые бетоны).

Утеплитель в решениях трехслойных стен наиболее рационально использовать в виде непрерывного теплоизоляционного экрана.

Такая стена должна обеспечивать выполнение следующих требований:

- применение местных материалов;
- низкая цена;
- высокие темпы строительства;
- капитальность конструкции;
- пожарная безопасность;
- экологичность.

В Москве и России наибольшее распространение получили следующие типы ограждающих конструкций:

- трехслойные железобетонные на гибких связях или шпонках с утеплителем из пенополистирола;
- трехслойные с кирпичной кладкой на этаж со средним слоем из пенополистирола или стекловаты и гибкими связями наружных слоев;
- двухслойные из ячеистого бетона с укладкой на этаж и утеплителем снаружи из минераловатной плиты;
- двухслойные монолитные железобетонные с утеплителем снаружи из минераловатной плиты.

Каковы же конструктивные особенности такой стены (рис. 4.10)?

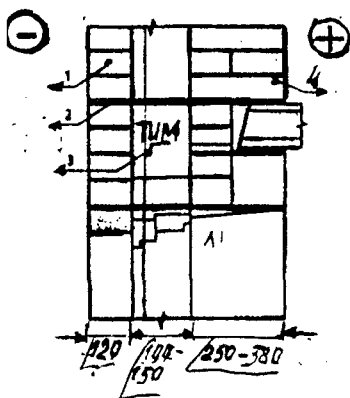


Рис. 4.10. Фрагмент трехслойной кирпичной стены:  
1 – облицовочный слой; 2 – стеклопластиковая связь;  
3 – теплоизоляция; 4 – несущий слой

*Наружный слой* кирпичной стены толщиной 120 мм (1/2 кирпича) кладется из облицовочного керамического или силикатного кирпича или вибропрессованного бетонного кирпича ( $b = 90$  мм). Применяют также керамические и керамзитобетонные блоки.

*Теплоизоляционный слой*, толщина которого определяется теплотехническим расчетом (100...150 мм), выполнен из пенополистирола или влагостойкой минеральной ваты.

*Внутренний несущий слой*, толщина которого определяется расчетом на несущую способность и устойчивость, выполняется из любого кирпича или пустотелых блоков из вибропрессованного бетона ( $b = 190$  мм).

Его толщина, т.е. толщина внутреннего несущего слоя составляет:  
 120 мм – для самонесущих стен, а также для несущих стен под  
 монолитные или деревянные покрытия в коттеджах;  
 250 мм – для несущих стен в домах до 5 этажей и  
 380 мм – для несущих стен в зданиях, имеющих свыше пяти этажей.

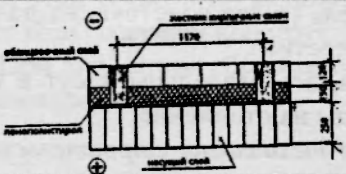
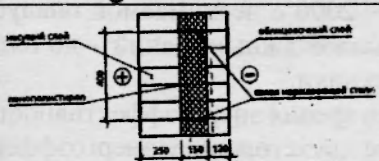
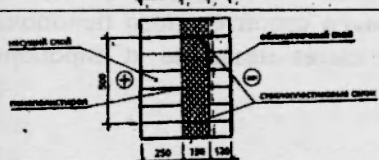
*Наружный облицовочный слой к несущему слою крепится связями:*

- из кирпича (жесткая кирпичная связь);
- нержавеющей стали;
- арматурной стали с цинковым или с алюминиевым антикоррозийным покрытием;
- стеклопластиковыми связями в виде стержней с анкерами;
- бетонных армированных шпонок прямоугольного сечения 60 x 140 мм класса по прочности на сжатие В15. Размеры и количество шпонок определяются теплотехническими расчетами и расчетами на прочность.

Применение «колодцевой» кладки для связи облицовочных и несущих слоев уменьшает теплосопrotивление на 50 % (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Теплосопrotивление стен без связи и со связями  
 (НПФ «Вильнюсский монолит»)**

Конструкция стены	Теплосопrotивление, (м <sup>2</sup> · К)/Вт		Теплопотери через связи, %
	без связей	со связями	
		1,68	50
	3,35	2,85	15
		3,28	2

Для возмещения этих потерь пришлось бы увеличить толщину теплоизоляционного слоя.

Важным конструктивным элементом трехслойной стены являются *гибкие связи с фиксаторами*, которые обеспечивают:

- совместную работу облицовочного и несущего слоев;
- фиксацию слоев утеплителя по площади стены.

Долговечность трехслойной стены непосредственно связана с долговечностью гибких связей.

**Стеклопластик** – долговечный материал, не вступающий в химическую реакцию с цементным раствором. Идеален для гибких связей: его прочность в 3 раза выше прочности на растяжение стали марки Ст3, а деформационные свойства выгодно отличаются от этих свойств стали, что весьма важно для надлежащей работы гибких связей.

В зарубежной практике получили распространение оцинкованные связи и связи из нержавеющей стали (проволока) диаметром 3, 4, 5 мм, марки стали 20Х13; 12Х13.

Полноценная в эксплуатационном плане трехслойная стена должна включать воздушную прослойку между наружным слоем и слоем утеплителя.

Воздушная прослойка толщиной 20...30 мм:

- исключает прямой контакт утеплителя с намокающим при дожде облицовочным слоем;
- обеспечивает сбор и эвакуацию дождевой и конденсатной влаги;
- обеспечивает осушение утеплителя (такая конструкция должна иметь систему вентиляционных отверстий).

Сэкономив на теплоизоляции дома, его владельцы несут в последующем неизменно большие расходы на отопление.

*Энергосберегающая и экономичная технология строительства зданий «Isohome – 2000P»*, Изодом – 2000 с неснимаемой опалубкой применима для возведения стен малоэтажных зданий – до пяти этажей без использования сложной техники.

Основа этой универсальной с точки зрения энергоэффективности технологии – неснимаемые пустотные двухсторонние энергоэффективные стеновые блоки из специального строительного пенополистирола – «Стиропен» (в Германии имеет название «Спиропор»; патент концерна «BASF»).

Эти блоки последовательно укладываются по периметру здания. После укладки нескольких рядов устанавливается арматура и в пустоты заливается легкий бетон (рис. 4.11).

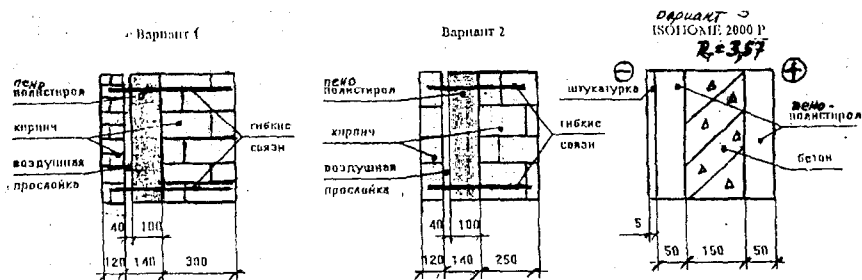


Рис. 4.11. Различные схемы трехслойных стен

Плотность  $\rho_0^{\text{стиропен}} = 25 \dots 35 \text{ кг/м}^3$ .

Этот материал (стиропен) и, следовательно, изделия из него:

- практически не впитывают влагу;
- мало пропускают водяных паров, содержащихся в воздухе;
- низкие температуры не влияют на физические и химические свойства;
- трудногорючи и самозатухающие при устранении источника огня.

В этой технологии монолитная бетонная стена  $b = 15 \text{ см}$  выполняет роль несущей конструкции.

При этом стена обрамляется с обеих сторон оболочкой из пенополистирола (ППС).

Сравнительная стоимость (прямых затрат)  
на возведение наружных стен и фундаментов жилого дома  
10,1x10,4 по наружному периметру (2 этажа)

Мероприятия	Толщина стен, см	Сопротивление теплопередаче $R_{т}$ , $(M^2 \cdot C)/Bт$	Стоимость возведения 1 м <sup>2</sup> стен, у.е.	Стоимость фундамента, у.е.	Стоимость стен, у.е.	Стоимость стен и фундамента, у.е.	Площадь внутреннего помещения здания, у.е.	Стоимость стен и фундамента в расчете на 1 м <sup>2</sup> внутр. панели, у.е.	Расход топлива (уголь)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кирпич лицевой эффективный - 12 см; воздушная прослойка - 4 см; пенопласт - 10 см; кирпич эффективный - 58 см (вариант 1)	64	2,21	37,84	1490	6244	7735	160,9	48,1	4370
Кирпич лицевой эффективный - 12 см; воздушная прослойка - 4 см; пенопласт - 10 см; кирпич эффективный - 25 см (вариант 2)	51	1,9	30,82	1306	5085	6391	163,2	39,2	4770

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стена ISOHOME 2000 P – 25 см. Штукатурка защитно- декоративная на полимерной основе – 0,5 см	25,5	3,57	30,08	893	6283	7176	188,5	38,1	2850



### 4.3.2. Система несъемной опалубки *Dobeles panelis* из пенополистирола

Элементы системы несъемной опалубки *Dobeles panelis*, Латвия (по технологии PLASTBAU®), служат в качестве высокотехнологической несъемной опалубки для строительства зданий (в том числе и многоэтажных) из монолитного железобетона, в то же время сама опалубка не выполняет функцию несущей конструкции (рис. 4.12).



Рис. 4.12. Несъемная опалубка из пенополистирола

Конструктивные элементы системы *Dobeles panelis* изготовлены из пенополистирола высокой плотности и стального арматурного каркаса, что обеспечивает им очень большую прочность. Опалубка легко и очень быстро монтируется. После бетонирования выполняются внутренняя и внешняя отделка конструктивных элементов, и, оставаясь частью конструкции, они являются *эффективной теплоизоляцией*.

### **В систему входят три вида конструктивных элементов:**

1) несъемная опалубка для наружных и внутренних несущих стен;

2) несъемная опалубка для межэтажных перекрытий и крыш;

3) панели-перегородки пенополистирольные.

Главные преимущества данной системы при строительстве и реконструкции:

- малая масса элементов позволяет строить малоэтажные здания с железобетонным каркасом без применения тяжелой техники (кранов и т. п.), что существенно влияет на строительные расходы, кроме того, уменьшается и уровень шума на строительном объекте;

- строительная система с несъемной пенополистирольной опалубкой требует намного меньших трудозатрат, чем любая другая строительная технология;

- эта система лучше всего зарекомендовала себя в случаях, когда необходимо дополнительно построить новые этажи в уже существующих зданиях, таким образом модернизируя стареющий жилой фонд;

- высокие теплоизоляционные характеристики пенополистирола позволяют выполнять работы по бетонированию без подогрева бетона даже при отрицательной температуре, что упрощает строительство и сокращает затраты на него;

- предоставляются широкие архитектурные возможности для реконструкции старых зданий и проектирования новых, так как конструктивные элементы могут изготавливаться различной формы и длины;

- минимизируются размеры строительной площадки, что позволяет выполнять работы по строительству и реконструкции, в том числе и на плотно застроенной территории;

- скорость строительства может достигать до четырех этажей в месяц.

**Несъемная опалубка для наружных и внутренних несущих стен.** Опалубка для несущих стен системы *Dobeles panelis* состоит из двух пенополистирольных (ППС) плит, которые на определенном расстоянии друг от друга удерживают специальные стальные арматурные каркасы (рис. 4.13).

У плиты, расположенной с внутренней стороны здания, всегда одна и та же толщина – 50 мм, а толщина наружной плиты может меняться и зависит от выполненного теплотехнического расчета.

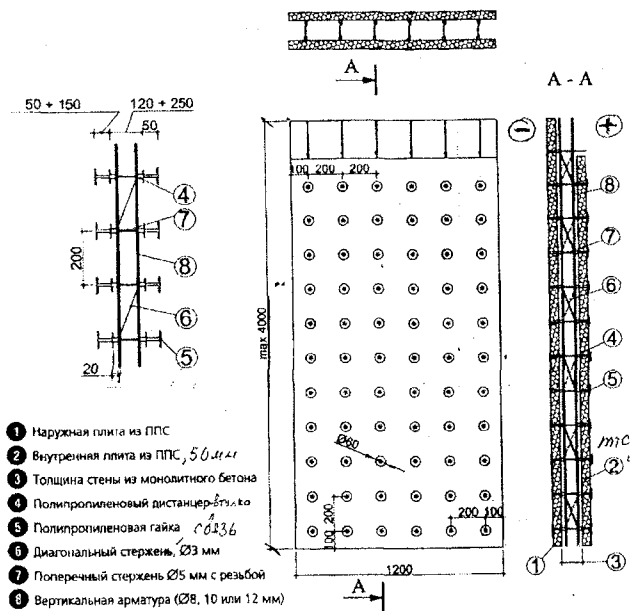


Рис. 4.13. Детали несъемной опалубки из ППС

Свободное пространство между плитами ППС на строительной площадке заполняется бетонной массой. Толщину бетонного слоя, а также класс бетона определяют расчетным путем. Расстояние между плитами можно менять, тем самым изменяя толщину несущей железобетонной части. После бетонирования стальная конструкция выполняет функцию арматурного каркаса, а пенополистирол – функцию теплоизоляции.

### Стандартные размеры несъемной опалубки для стен

Толщина наружной плиты из ППС, мм	Толщина внутренней плиты из ППС, мм	Толщина бетонного слоя, мм	Диаметр вертикальной арматуры, мм
50; 100; 150	50	120	8; 10; 12
50; 100; 150	50	150	8; 10; 12
50; 100; 150	50	200	8; 10; 12
50; 100; 150	50	250	8; 10; 12

Примечание. Марка пенополистирола – EPS 200 согласно EN 13161 (средняя плотность – 30 кг/м<sup>3</sup>). Стандартная ширина опалубки – 1200 мм. Длина опалубки – в высоту одного этажа (максимум 4000 мм).

**Арматура.** Диаметр вертикальной арматуры внутри пространственного каркаса панели – 8, 10 и 12 мм (в соответствии с расчетами конструкции). На каждый погонный метр приходится по 10 стержней, привариваемых попарно один напротив другого (расстояние между стержнями зависит от выбранной толщины бетонного слоя) с соединительным поперечным стержнем  $\varnothing$  5 мм, а по диагонали – соединительным диагональным стержнем  $\varnothing$  3 мм. Такого рода парные элементы в пространственном каркасе панели размещаются с шагом 200 мм. Расположение вертикальной арматуры и ее количество должны учитываться при конструктивном расчете стены. С внутренней стороны пространственного каркаса панели используются полипропиленовые дистанцеры, которые обеспечивают арматуре 20-миллиметровый защитный слой бетона, соответствующий всем действующим в этой сфере нормам.

**Бетонирование.** Навинчиваемые гайки из высокопрочного полипропилена удерживают стеновые панели с помощью соединительного горизонтального поперечного стержня  $\varnothing$  5 мм, приваренного изнутри и имеющего наружную резьбу.

Полипропиленовые гайки на плоскости опалубки размещаются на расстоянии 200 x 200 мм друг от друга. Каждая гайка выдерживает нагрузку на разрыв в 1400 Н.

Гайки изготовлены с таким расчетом, чтобы выдержать давление бетона и обеспечить непрерывную заливку бетона с высоты 4 м. Бетонирование можно выполнять традиционными методами, но необходимо следить за тем, чтобы бетонная струя направлялась строго между плитами опалубки.

Толщина бетонного слоя 120...250 мм. Класс бетона может быть различным – в пределах от В15 до В25 (в соответствии с прочностными расчетами).

Бето́нная масса, используемая для бетонирования стен, на строительной площадке должна соответствовать следующим показателям: текучесть бетонной массы 53 (осадка конуса – 100...150 мм) или 54 (осадка конуса – 160...210 мм), максимальный размер фракции наполнителя – 16 мм.

*Заполнение бетоном происходит в три этапа:*

- до нижнего края оконных проемов;
- до верхнего уровня оконных проемов;
- до верхнего края опалубки для стен.

## 5. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА

Проблема снижения затрат энергии при производстве строительных материалов не нова.

Даже в СССР, когда цены на топливо были очень низки по сравнению с сегодняшними, доля затрат энергии в себестоимости продукции была весьма значительна.

В настоящее время затраты на топливо в себестоимости строительных материалов возросли во много раз по сравнению с уровнем 1989 г.

Промышленность строительных материалов сегодня является одним из крупнейших потребителей ТЭР в республике. Это обусловлено большой материало- и энергоемкостью отрасли (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Затраты топлива на производство некоторых видов  
строительных материалов

Вид материала	Единица измерения	Расход топлива, кг у.т.
Стекло листовое	м <sup>2</sup>	348
Известь	т	245...300
Цемент	т клинкера	190...232
Кирпич керамический	тыс. шт.	251
Кирпич силикатный	тыс. шт.	160
Блоки из ячеистого бетона	м <sup>3</sup>	90 (с учетом затрат на цемент и известь)
Мягкая кровля	тыс. м <sup>2</sup>	67
<b>Энергозатраты при производстве строительных материалов</b>		
Наименование	МДж/т	МДж/м <sup>3</sup>
Обычный бетон С 20/25	540	1242
Портландцемент	4086	-
Железобетон С 20/25	2001	-
Товарный бетон	820	-
Гипсопесчаные камни	871	1219

**Энергосберегающая технология бетона (ЭСТБ).** В Республике Беларусь она разработана под руководством проф. Н.П. Блещика.

Технология впервые внедрена на Гомельском заводе железобетонных изделий № 5 ПА «Белстройиндустрия» и на Брестском заводе КПД-1.

Эта *беспрогревная* и малозатратная технология предназначена для производства:

- а) *сборных бетонных* и железобетонных конструкций, предпочтительно без преднапряженной арматуры;
- б) возведения *монолитных железобетонных* конструкций в летние и зимние периоды года.

Данная технология решает *проблему ускоренного формирования структуры бетона* в различных термовлажностных условиях. В ней используются материалы и вторичные продукты химических предприятий Республики Беларусь, т.е. химические модификаторы.

Использование ЭСТБ технологии позволяет:

- сократить расходы тепловой энергии на термовлажностную обработку (ТВО) в холодное время года в 3...4 раза (90...100 %) и довести ее потребление до 0,1 Гкал/м<sup>3</sup>;
- в теплый период года при температуре твердения выше +10 °С и вовсе отказаться от процесса тепловой обработки или снизить расходы тепловой энергии до 0,05 Гкал/м<sup>3</sup>. Экономический эффект на каждый кубический метр бетона – около 4 USD;
- сократить в 2...2,5 раза срок выдерживания монолитных конструкций *в опалубке* в летний период;
- в зимний период в 2...3 раза сократить расход тепловой энергии при возведении монолитных конструкций;
- повысить прочность, морозостойкость и водонепроницаемость;
- улучшить удобоукладываемость.

Мировой, т.е. зарубежный, опыт показал, что *высокоподвижные бетонные смеси* позволяют резко (в 5 раз) сократить затраты труда, так как *бетонные смеси можно укладывать* по самонивелирующей технологии или с незначительным вибрационным уплотнением, расход электроэнергии сокращается в 20...30 раз.

В зарубежной и отечественной практике предусматривается *литьевое формование* бетонных и железобетонных конструкций. Проблема литьевого формования решается путем применения:

- комплексных химических реагентов – суперпластификаторов;

- гидрофобизаторов;
- ускорителей твердения.

Литьевое формование можно использовать для изготовления облегченных энергоэкономичных наружных трехслойных стеновых панелей и колонн безригельной системы каркасных зданий (тр. № 4 в г. Минске).

Например, литьевой бетон класса С 20/25 получается при использовании ПЦ-Д20 М 400-500; Ц = 380 кг/м<sup>3</sup>, и суперпластификатора С-3 с расходом 0,6-0,7 % от массы Ц, т.е. 2,28...2,66 кг, ОК = 18...20 см. Бетонная смесь укладывается за 5 с; 1 м<sup>3</sup> бетона имеет массу 2400 кг.

*Беспрогревная технология* производства железобетонных конструкций резко сокращает расход тепловой энергии, например, при использовании в качестве ускорителя твердения бетона ПВК (полиметаллический водный концентрат).

ПВК – это природный высококонцентрированный рассол, добываемый откачкой из скважин или как попутный продукт при разработке нефтяных месторождений РУП «Белгеология» и РУ «Беларуснефть». Замерзает при  $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Применение добавки ПВК при  $t = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$  инициирует экзотермию (выделение тепла) – бетон быстрее твердеет. Зимой добавка ПВК плюс электропрогрев нагревательными проводами ( $t = 30\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) позволяет достигать распалубочной прочности через 2-3 суток.

Эта добавка в 25 раз дешевле импортного нитрита натрия НН и пластификатора СПС (смола пиролиза сульфированная), СТБ 1414-2003. «Смесь натриевых солей ароматических сульфокислот различной молекулярной массы с сульфатом натрия (жидкость)», и комплексных добавок К-1, К-8.

В ЭСТБ учитывается также выделение тепла (экзотермия) при твердении цемента.

## **5.1. Химические добавки для бетонов**

(СТБ 1112-98 «Добавки для бетонов.

**Общие технические условия» и ГОСТ 30459-96**

**«Производство сборных железобетонных конструкций и изделий»)**

*Химические добавки для бетонов* – природные или искусственные химические вещества, вводимые в бетонную смесь с целью

улучшения ее технологических свойств (изменение свойств бетонной смеси) и физико-технических показателей бетонов.

Химические добавки вводят в бетонную смесь для целенаправленного изменения (модификации) свойств бетонной смеси и самого бетона.

По химической природе они могут быть органическими и неорганическими.

В зависимости от назначения (основного эффекта действия) их подразделяют (ГОСТ 30459-96, СТБ 1112-98) на виды:

- ◆ регулирующие твердение бетона: ускорители и замедлители твердения бетона;
- ◆ обеспечивающие твердение цемента при отрицательной температуре без обогрева (противоморозные);
- ◆ регулирующие свойства бетонных смесей, т.е. улучшающие пластичные свойства бетонных смесей (пластификаторы и суперпластификаторы). Это добавки, снижающие водопотребность бетона. Они не вступают в реакцию с цементом. Срок действия их не более 45 мин. Взамен суперпластификаторов, срок действия которых не превышал 45 мин и которые добавляли в бетон на строительной площадке, в настоящее время используют суперпластификаторы с более длительным сроком действия, кроме того, их применение повышает прочностные показатели и долговечность бетона);
- ◆ регулирующие свойства бетона: вовлекающие воздух при перемешивании бетонных смесей и придающие цементному камню водоотталкивающие свойства (воздухововлекающие, гидрофобизирующие и гидрофобно-пластифицирующие);
- ◆ поризующие, т.е. создающие ячеистую структуру в бетоне (пено- и пенообразующие);
- ◆ повышающие поверхностную плотность цементного камня (уплотняющие, т.е. кольматирующие);
- ◆ препятствующие разрушению арматуры в бетоне (ингибиторы коррозии стали);
- ◆ защищающие бетон от разрушения микроорганизмами (биоцидные).

В Республике Беларусь действует П1-99 к СНиП 3.09.01-85 «Применение добавок в бетонах».



В практике производства бетонных работ часто возникает необходимость в *ускорении* схватывания и твердения бетона. Например, при возведении сооружений из монолитного бетона и железобетона для интенсификации темпов бетонирования надо, чтобы бетон быстрее набирал опалубочную прочность. Высокая скорость твердения бетона нужна и при аварийно-восстановительных работах.

Ускорение твердения бетона приобретает особое значение при изготовлении бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях, т.к. благодаря сокращению сроков изготовления изделий достигаются максимальное использование производственных площадей и повышение оборачиваемости форм и другого дорогостоящего оборудования.

Ускорителями твердения могут быть:

- добавки, *повышающие растворимость клинкерных минералов*, такие как хлорид кальция  $\text{CaCl}_2$ , сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , нитраты кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и натрия  $\text{NaNO}_3$ . Нередко применяют и многокомпонентные добавки: нитрит-нитрат кальция НКН, нитрит-нитрат-хлорид кальция, ПВК и др.

- кристаллические добавки-затравки ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), создающие условия для более быстрой кристаллизации и твердения цементного теста. Эти добавки применяют как при бетонировании на строительной площадке в условиях низких положительных температур, так и при получении сборных конструкций на заводе, экономия энергозатраты на их производство.

Действие этих ускорителей объясняется тем, что они понижают растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющегося при гидратации цемента; это приводит к дальнейшей гидратации клинкерных минералов и увеличивает в конечном итоге количество новообразований в цементном камне. В результате прочность бетона, содержащего добавку-ускоритель, в первые 3...7 сут твердения значительно больше, чем прочность бетона без добавки за этот отрезок времени.

Таким образом, *эффект* добавок-ускорителей твердения бетона заключается в *повышении темпа роста* его прочности в *начальный период* твердения (1...3 суток).

Сравнительная эффективность добавок-ускорителей для бетона естественного твердения приведена в табл. 5.2.

## Эффект добавок ускорителей твердения для цементного бетона

Вид добавки	Прочность бетона $R_{бет}$ с добавками-ускорителями твердения, в процентах, по сравнению с бетоном без добавок (100 %) в возрасте		
	1 сут	3 сут	28 сут
$CaCl_2$ (ХК) хлорид кальция	150...200	150...190	110...120
$NaSO_4$ (СН) сульфат натрия	130...160	120...160	105...110
$ННХК Ca(NO_2)_2 +$ $+ Ca(NO_3)_2 + CaCl_2$	130...160	120...150	110...120
ННК (нитрит-нитрат кальция)	120...140	120...140	105...110
ПВК (полиметаллический водный концентрат)	140...180	120...140	105...110

Эффективность (ЭФ) добавок-ускорителей твердения возрастает с повышением активности цемента  $R_{ц}$ , класса бетона С и с уменьшением водоцементного отношения бетонной смеси В/Ц.

Для ускорения твердения бетона, снижения энергозатрат при тепловой обработке (ТО), сокращения ее продолжительности и для повышения роста прочности бетона следует применять добавки ускорителя твердения (ХК, НК, ННК, СН, ПВК), поташ  $K_2CO_3$ , пищевую соду  $NaHCO_3$ .

Следует помнить, что одна и та же добавка *при разной дозировке* может проявлять и *разное действие*, т.е. ускорять либо замедлять твердение бетона. Поэтому концентрация добавок в бетонной смеси, установленная в строительной лаборатории опытным путем, должна обязательно выдерживаться при изготовлении смеси. Количество добавок обычно составляет 1...3 % от массы цемента.

Для бетонов на цементах марки 400 и ниже, а также при водоцементном отношении бетонной смеси более 0,5 и классе бетона до С 12/15 более эффективным способом по сравнению с естественным твердением является низкотемпературный прогрев при 30...40 °С.

Бетон с добавкой-ускорителем на портландцементе (ПЦ) и шлакопортландцементе (ШПЦ) при прогреве до 45...65 °С достигает за 16...24 ч  $R = (70...80\%) R_{28}$ .

Прирост прочности бетона естественного твердения с пластифицирующими добавками I группы (суперпластификаторами) в суточном возрасте при постоянной удобоукладываемости бетонной смеси может составить до 75 % прочности бетона без добавок.

Благодаря введению добавок-ускорителей твердения удается сэкономить цемент, причем дополнительное использование совместно с электролитами пластифицирующих органических добавок обеспечивает возможность снизить расход цемента до 12...15 %.

Применение хлорида кальция ХК в качестве ускорителя твердения бетона в США ограничено. Применяются бесхлоридные ускорители.

**Замедлители схватывания, добавки** – порошкообразные вещества, вводимые с целью замедления схватывания и увеличения живучести бетонных и растворных смесей.

Изготовление бетонной смеси на заводе и транспортировка ее в автосамосвалах к месту укладки на большие расстояния, особенно в летний период в жаркую погоду, часто сопровождается *потерей ее пластичности* вследствие взаимодействия цемента с водой. В этих условиях в бетонную смесь намеренно вводят *добавки-замедлители схватывания*, которые представляют собой или органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), образующие адсорбционный слой на продуктах гидратации цемента, особенно на  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а также на поверхности исходных негидратированных минералов, цементных зерен, замедляющий на определенный период взаимодействие цемента с водой (ЛСТ и кремнийорганические жидкости ГКЖ-10, ГКЖ-11), или вещества, замедляющий эффект которых связан с кристаллизацией малорастворимых соединений, *экранирующих поверхность* цемента (сахара; глюкоза, сахароза, целлюлоза, крахмал, КП – кормовая патока; бура и соли некоторых органических кислот). При последующем перемешивании защитный слой нарушается и бетонная смесь приобретает свойство твердеть и набирать прочность.

Добавки этого типа используют при твердении растворных и бетонных смесей в условиях повышенных температур, а также для компенсации ускоряющего эффекта других функциональных добавок. Примерами составов, требующих применения замедлителей схватывания, могут быть смеси для устройства полов, некоторые ремонтные растворы и практически все составы на основе гипса.

Эффективность действия таких добавок может быть столь велика, что начало схватывания смеси может задержаться на несколько суток или вообще на неопределенное время. Из добавок-замедлителей, рекомендуемых к практическому применению, следует назвать винную и лимонную кислоты, кальциевые и натриевые соли лимонной кислоты (цитрат кальция и цитрат натрия), лигносульфонаты кальция и натрия (в виде порошков), глюконат натрия. Лигносульфонаты (ЛСТ) являются неочищенными продуктами и частично их замедляющее действие связано с примесями глюконатов и сахарозы. В качестве замедлителей в смесях могут быть использованы также хорошо растворимые в воде кристаллические порошки триполифосфата натрия и нитрилотриметиленфосфоновой кислоты (НТФ). Эти соединения могут быть продуктами основного синтеза, а также могут входить в состав комплексных замедлителей, предлагаемых различными фирмами. Некоторые примеры добавок-замедлителей схватывания, выпускаемых в виде порошков:

- лимонная кислота ( $(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_7)_2$ ,  $\text{C}(\text{OH})\text{COOH}$ );
- НТФ (нитрилотриметиленфосфоновая кислота);
- триполифосфат натрия ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ );
- глюконат натрия (натриевая соль глюконовой кислоты);
- глюцидекс 29 (распыленный и высушенный глюкозный сироп).

*Побочным эффектом* введения добавок-замедлителей схватывания является замедление гидратации и твердения вяжущих систем, особенно на ранних стадиях твердения (1...3 сут).

Добавки-замедлители схватывания достаточно эффективны в небольших концентрациях. Концентрация замедлителей в смесях зависит от типа замедлителя и находится обычно в пределах 0,01...0,15 % масс. На результат действия добавки оказывает влияние состав исходного цемента, содержание в нем щелочей, количество вводимого замедлителя, температура применения и т.д. Все рекомендации по использованию добавок этого типа являются весьма приближенными и требуют обязательной корректировки в зависимости от вида исходного сырья. Следует иметь в виду, что во многих случаях замедление схватывания смесей на основе портландцемента является побочным эффектом введения других целевых добавок, причем их влияние может оказаться весьма значительным. Например, замедление сроков схватывания может быть результатом введения добавок-пластификаторов (водопонижителей), вододерживающих и загущающих и др.

Добавки для регулирования реологических\* свойств бетонных смесей подразделяют на пластифицирующие, стабилизирующие и водоудерживающие.

**Пластифицирующими** называют добавки, увеличивающие подвижность (или снижающие жесткость) бетонных смесей без снижения прочности бетона.

В качестве пластифицирующих добавок к бетонам рекомендуется применять отдельные вещества или их сочетания, номенклатура которых приведена в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Вид добавки по СТБ 1112	Наименование однокомпонентных добавок	Условное сокращенное обозначение
1	2	3
Пластифицирующая <b>I группы</b> (суперпластификаторы)	Пластификатор С-3	С-3
	Разжижитель 10-03, МФАС	10-03
	Суперпластификатор «Дофен»	ДФ
	Пластификатор НКНС 40-03	40-03
Пластифицирующая <b>II группы</b> (сильнопластифицирующие)	Разжижитель СМФ	СМФ
	Пластификатор СПС (смола пиролиза сульфированная)	СПС
Пластифицирующая <b>III группы</b> (среднепластифицирующие)	Пластификатор «Аплассан»	АПЛ
	Лигносulfонаты технические модифицированные	ЛСТМ-2 (СДБ)
	Пластификатор лигносульфонатный	ПЛС-1
Пластифицирующая <b>IV группы</b> (слабопластифицирующие), пластифицирующие воздухововлекающие	Добавка для бетонной смеси ЛМГ	ЛМГ
	Барда мелассная последрожжевая упаренная	УПБ
	Водорастворимый препарат ВРП-1	ВРП-1
	Лигносulfонаты технические марки В	ЛСТ (из ССБ)

\* Реология – наука о деформациях и течении вещества.

1	2	3
	Побочный продукт производства капролактама ЦСПК-М модифицированный Мылонафт Жидкости ГКЖ-10, ГКЖ-11	ЦСПК <sub>М</sub> М <sub>1</sub> ГКЖ-10 ГКЖ-11

Подвижность бетонной смеси характеризуется осадкой (см) стандартного конуса (ОК). Для определения пластифицирующего эффекта добавки изготавливают бетонную смесь с осадкой конуса 2...4 см. При введении добавки осадка конуса возрастает, и в зависимости от полученного результата добавку относят к одной из следующих четырех групп: I группа – суперпластификаторы (увеличивающие осадку конуса с 2...4 см до 20 см и более); II группа – высокопластифицирующие (осадка конуса до 14...19 см); III группа – среднепластифицирующие (осадка конуса 9...13 см); IV группа – слабопластифицирующие (осадка конуса менее 8 см). Пластифицирующие добавки представляют собой поверхностно-активные вещества (ПАВ). По характеру действия различают гидрофильно-пластифицирующие и гидрофобно-пластифицирующие добавки.

Из числа *гидрофильно-пластифицирующих* наибольшее применение получила добавка ЛСТ – лигносульфонаты технические (прежнее название – сульфатно-дрожжевая бражка - СДБ). Поставляется обычно в жидком виде, иногда – в твердом, легко растворяется в воде. В расчете на 1 м<sup>3</sup> бетона расход добавки составляет обычно 0,5...1 кг.

Особенно эффективно использовать эту добавку в жирных бетонных смесях, т.е. в смесях с большим содержанием вяжущего (цемента). При введении пластифицирующих добавок можно решить одну из следующих задач:

- 1) *улучшить удобоукладываемость* бетонной смеси при сохранении расхода цемента и прочности бетона;
- 2) *уменьшить расход воды*, а расход цемента оставить прежним; при этих условиях прочность бетона увеличится;

3) *уменьшить расход воды и цемента В/Ц при сохранении прежней удобоукладываемости, при этом прочность бетона останется неизменной, но расход цемента сократится на 8...10 %.*

В этом большое значение пластифицирующих добавок: вводимые в состав бетона в небольших количествах, *они улучшают удобоукладываемость бетонной смеси и тем самым снижают затраты труда и энергии на бетонных работах;* в то же время они позволяют получить существенную экономию цемента.

*Гидрофобизирующие пластифицирующие добавки (мылонафт, гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости ГКЖ-10, ГКЖ-11 и др.)* рекомендуется применять в так называемых тощих бетонах, отличающихся малым расходом цемента. После укладки и затвердевания бетона такие добавки, адсорбируясь в порах, придают бетону водоотталкивающие свойства (гидрофобизируют бетон). В результате сильно уменьшается водопоглощение, одновременно возрастают морозостойкость и сопротивляемость бетона коррозии. Применение гидрофобно-пластифицирующих добавок – эффективный способ повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

*Добавки-пластификаторы* вводят в бетонную смесь в количестве 0,1...0,3 % от массы цемента. Основной эффект от их действия связан с *улучшением смачивания водой поверхности цементных частиц и облегчения их скольжения относительно друг друга.*

Определенное гидрофильное влияние добавки оказывают и на поверхность применяемого заполнителя, но оно имеет выборочный, зависящий от химического состава породы характер и вследствие неоспоримо больших размеров зерен не играет определяющей роли.

Все большее распространение получают добавки нового типа – *суперпластификаторы*, представляющие собой высокоэффективные органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), т.е. синтетические полимерные материалы. Это сульфинированные меламиноформальдегидные смолы (10-03, МФАС); сульфинированные нафталинформальдегидные смолы (С-3, 30-03, 40-03). Введение их в количестве 0,3...1,0 % от массы цемента Ц в пересчете на сухое вещество (т.к. часто это водные растворы) позволяет:

а) без увеличения расхода воды ( $H_2O$ ), т.е. при низком В/Ц получить высокоподвижные, литые бетонные смеси;

б) делает возможным частично или полностью отказаться от вибрации при формовке изделий;

в) обеспечивает ее транспортировку по трубопроводам пневматическим способом или с использованием бетононасосов, т.е. обладает более сильным разжижающим действием.

В результате применения суперпластификаторов *поровая структура* (поры) в бетоне *становится тоньше и однородней*.

Бетон становится прочнее и меньше подвержен коррозии.

При сохранении заданной пластичности за счет значительного сокращения расхода воды (до 20 %) в бетонной смеси снижается *продолжительность термовлажностной обработки*, повышаются плотность  $\rho_0$ , прочность ( $R$  до 80 МПа), водонепроницаемость  $W$  и морозостойкость  $F$  бетона.

Как показала многолетняя практика использования, добавки суперпластификаторы несколько снижают темп роста прочности бетона в начальные сроки естественного твердения, в связи с этим их часто используют в комплексе с ускорителями твердения. В Беларуси суперпластификатор С-3 выпускает Мозырский завод сборного железобетона. Недостатком С-3 является быстрая потеря удобоукладываемости бетонной смеси.

Введение органических *гидрофобизирующих* (гидрофобно-пластифицирующих) добавок (ГКЖ – гидрофобизирующая кремнийорганическая жидкость) ГКЖ-94, ГКЖ-10, ГКЖ-11, мылонафта в количестве 0,01...0,03 % от массы цемента не только *уменьшает смачиваемость* стенок, пор, капилляров цементного камня, но и поверхности бетонных изделий. При перемешивании бетонной смеси гидрофобизирующие добавки вызывают повышенное воздухововлечение, что обеспечивает преобладание в бетоне замкнутых, недоступных проникновению пор, заполненных воздухом, которые значительно повышают водонепроницаемость и морозостойкость бетона и уменьшают водопоглощение. Так как в результате замерзания воды и увеличения ее объема на 9 % в затвердевшем бетоне возникают избыточные напряжения, которые гасятся за счет наличия резервных воздушнонаполненных пор, повышается сопротивление коррозии.

С целью *придания бетону ячеистой структуры*, характеризующейся равномерно распределенными замкнутыми порами по всему объему примерно одного размера, заполненных газом или воздухом, вводят *газо- и пенообразующие* добавки. Наиболее часто применяемыми являются алюминиевая пудра или паста, реакция



которой с продуктом гидратации трехкальциевого силиката – гидроксидом кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или с самим вяжущим – известью приводит к выделению газообразного водорода ( $\text{H}_2$ ), а также органические соединения, обладающие способностью образовывать *устойчивую пену* (мыла, гидролизованная кровь животных).

В зависимости от используемого минерального вяжущего и вида применяемой добавки получают пено- или газосиликат в результате автоклавной обработки изделий на известково-кремнеземистом вяжущем и пено- и газобетон, применяя портландцемент и термо-влажностный режим твердения, пено- и газогипс на основе гипсовых вяжущих.

Условия эксплуатации таких конструкций, как железобетонные трубы, емкости для хранения жидких продуктов, требуют, чтобы бетон обладал высокой плотностью. Для *увеличения поверхностной плотности* бетона в бетонную смесь вводят специальные кольматирующие добавки в количестве 1..3 % от массы цемента: хлористое железо (ХЖ), сульфат алюминия (СА), битумную эмульсию, кальмафлекс, кальматрон. Водонерастворимые продукты взаимодействия кольматирующих добавок с гидратными новообразованиями цементного камня, обладая низкой растворимостью, заполняют, тампонируют (кольматируют) поры в бетоне, повышая его поверхностную плотность (увеличивают водонепроницаемость).

При введении *хлорсодержащих добавок* (ускорителей (ХК –  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), уплотняющих (ХЖ), противоморозных ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ), вследствие высокой активности содержащихся хлорионов по отношению к стальной арматуре, возникает опасность ее коррозии. Аналогичные опасения имеют место и при эксплуатации железобетонных конструкций в условиях действия жидких и газообразных соединений хлора. Чтобы по возможности исключить разрушение арматуры, приводящее впоследствии к потере несущей способности всей конструкции, при ее изготовлении в бетонную смесь вводят самостоятельно или в комплексе с хлорсодержащими добавками *ингибиторы коррозии*, такие как *нитраты*, хроматы и бораты (*нитрат* натрия НН, тетраборат натрия ТБН, бихромат натрия БХН, бихромат калия БХК).

Определенный обширный класс (группу) составляют противоморозные добавки, т.е. добавки, *понижающие температуру замерзания воды*.

Механизм их действия заключается в способности понижать температуру замерзания воды (льдообразования), причем тем в большей степени, чем выше концентрация раствора. Таким свойством обладают как органические, так и неорганические соединения (табл. 5.4). Введение их в бетон, при условии обеспечения сохранности воды (раствора) в жидком виде, создает нормальные условия для прохождения реакций гидратации цемента при отрицательной температуре. В случае перехода воды в лед всякое химическое взаимодействие прекращается. В качестве противоморозных добавок используют как однокомпонентные: хлористый натрий и кальций ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ), калий углекислый технический (поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), нитрит натрия технический  $\text{NaNO}_2$ , мочевины (карбамид  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), так и комплексные (ПВК – полиметаллический водный концентрат) соединения.

Таблица 5.4

Виды противоморозных и противогололедных добавок

Нитрит натрия технический $\text{NaNO}_2$ ГОСТ 19906	НН	Противоморозная	5 (до $-5^\circ\text{C}$ ) 8 (от $-6$ до $-9^\circ\text{C}$ ) 10 (от $-10$ до $-15^\circ\text{C}$ )
Калий углекислый технический $\text{K}_2\text{CO}_3$ (поташ) ГОСТ 10690	П	- " -	5 (до $-5^\circ\text{C}$ ) 10 (от $-6$ до $-15^\circ\text{C}$ )
Нитрат кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	НК	- " -	15 (от $-16$ до $-30^\circ\text{C}$ )
Нитрат кальция с мочевиной	НКМ		5 (до $-5^\circ\text{C}$ ) 10 (от $-6$ до $-15^\circ\text{C}$ )
Карбамид (мочевина)	V		15 (от $-16$ до $-25^\circ\text{C}$ )

Противогололедные реагенты, применяемые на автомагистралях г. Москвы<sup>1</sup> (МГСН 2.09-03)

Наименование	Состав	Нормы расхода	Агрессивность*	
			стали	бетону
ХКМ жидкость	Раствор хлористого кальция модифицированный, 32 %	40...110 мл/м <sup>2</sup>	++	+
Антиснег-1 жидкость	раствор ацетата аммония, 30 %	20...45 мл/м <sup>2</sup>	-	+

\* По «Временной инструкции по технологии зимней уборки проезжей части улиц и проездов с применением химических противогололедных реагентов и щебня фракции 2...5 мм» УЖККХ правительства Москвы 2002 г.

\*\* «++» очень сильное, «+» сильное, «-» отсутствует.

1	2	3	4	5
Нордикс-П жидкость	раствор ацетата калия, 30 %	20... 45 г/м <sup>2</sup>	-	+
ХКФ твердый	хлористый кальций, ингибированный фосфатами	20... 70 г/м <sup>2</sup>	+	+
Биомаг твердый	хлористый магний модифицированный	30... 80 г/м <sup>2</sup>	++	+

Находят применение противоморозные добавки, введение которых в бетон дает возможность укладывать его при температуре до  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , причем ускоряется твердение бетона и повышается его прочность. Добавки не содержат хлоридов и не вызывают коррозии арматуры в бетоне.

Химические добавки рекомендуется применять:

- в тяжелых;
- мелкозернистых конструкционных;
- легких бетонах.

Они также применяются с целью улучшения технологических свойств бетонной смеси:

1) для повышения удобоукладываемости:

- перекачиваемости;
- снижения водоотделения;

2) для регулирования:

- скорости процессов схватывания, твердения и тепловыделения;
- потери подвижности бетонной смеси во времени;

3) для сокращения продолжительности тепловой обработки бетона: ускорения:

- ◆ сроков распалубки,
- ◆ загрузки конструкции при естественной выдержке;

4) для повышения:

- прочности  $R$ ;
- водо- и газонепроницаемости бетона  $W$ ;

- 5) повышения:
- ◆ морозостойкости  $F$ ;
  - ◆ стойкости бетона и железобетона в различных агрессивных средах путем уплотнения (табл. 5.5);

б) уменьшения расхода цемента  $C$ .

Таблица 5.5

Влияние добавок на технические характеристики  
бетонной смеси и бетона

Добавка	Повышает подвижность	$R$	Состав с уменьшенным расходом воды			
			Воды на 20...30 % меньше	$F$ выше на 1,5...2,0 марки	$W$ на 3...4 марки выше	$R$ от исходной 100 до 125...140 %
С-3	От $P_1$ до 18...22 см	От $R$ исходной 100 до 105 %				

*Беспрогревное твердение* бетонных и железобетонных изделий с ускорителями твердения при  $t_{\text{среды}} = +15$  °С и выше рекомендуется осуществлять в кассетных установках или в ямных камерах с закрытой крышкой при максимальной их загрузке.

В этом случае за счет использования экзотермии цемента бетонные изделия разогреваются до 35...40 °С и процессы твердения интенсифицируются.

Для экономии энергозатрат при тепловлажностной обработке изделий или с целью ее исключения следует применять добавки ускорители твердения  $XK(CaCl_2)$ ,  $HK(Ca(NO_3)_2)$ ,  $CH(Na_2SO_4)$ , ПВК.

При этом:

- в суточном возрасте должна быть достигнута распалубочная прочность (или не менее 50 % проектной прочности);
- проектная прочность достигается в 28-суточном возрасте естественного твердения (рис. 5.1).

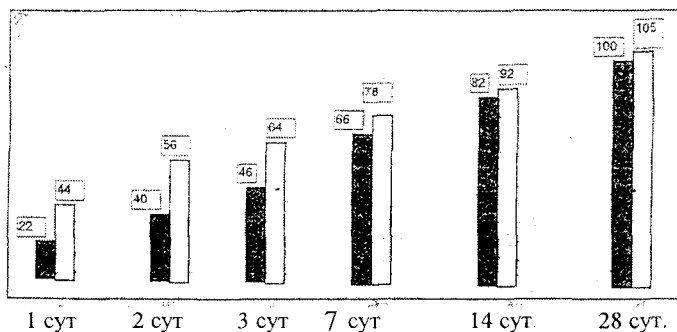


Рис. 5.1. Кинетика набора прочности бетона, % ;  
 ■ – относительная прочность традиционного бетона;  
 □ – относительная прочность бетона по ЭСТБ

### *Использование химических добавок для снижения расхода материальных ресурсов и энергозатрат при производстве железобетонных изделий*

Введение добавок в бетонную смесь должно быть экономически обосновано и давать один или несколько эффектов.

На практике при применении добавок чаще всего достигается комплексный эффект, как наиболее рациональный вариант их использования (табл. 5.6).

Таблица 5.6

#### Варианты использования добавок

Виды добавок	Уменьшение расхода Ц	Повышение $M_{p3}$ ( $F$ ) на число марок (ступеней)	Повышение водонепроницаемости $W$ на число марок (ступеней)
С-3, I гр.	15...25 %	-	-
ЛСТ III гр.	5...8 %	-	-
С-3+ЛСТ+ГКЖ10	15...20 %	1-1,5	0,5...1,0

Следует считать, как правило, **обязательным** введение добавок в следующих случаях:

- пластифицирующих I группы (суперпластификаторов):  
для приготовления литых ( $OK \geq 20$  см) и высокоподвижных смесей,  
для получения бетонов классов С 40/50 и более,  
для получения бетонов высокой плотности (W8 и более);
- пластифицирующих II группы (сильно пластифицирующих, например, СПС-1):  
для приготовления высокоподвижных смесей (не для литых),  
для получения бетонов классов С 30/40 и С 40/50;
- пластифицирующих III и IV групп, воздухововлекающих, газообразующих для приготовления бетонов повышенной и высокой морозостойкости ( $F$ ).

Для получения бетонной смеси с требуемыми технологическими характеристиками в ее состав рекомендуется вводить:

- для увеличения подвижности и уменьшения жесткости пластифицирующие (С-3) или воздухововлекающие (СДО) добавки;
- для повышения однородности (нерасслаиваемости) стабилизирующее (ПОЭ – полиоксиэтилен).

Для получения бетона с требуемыми по проекту физико-техническими показателями в его состав для повышения прочности ( $R$ ) необходимо вводить пластифицирующие добавки (С-3, ЛСТМ-2, ГКЖ-10) или ускорители твердения.

Оптимальное количество добавок устанавливается экспериментально при подборе состава бетона. При этом количество уплотняющих добавок – ускорителей твердения – не должно превышать следующих значений, % от массы цемента (Ц):

СН (сульфат натрия $Na_2SO_4$ )	1
СН при допустимости образования высолов на поверхности конструкций	2
ХК (хлорид кальция $CaCl_2$ )	
ПВК (полиметаллический водный концентрат)	
ХЖ (хлорид железа)	
◆ в железобетонных конструкциях	1,5
◆ в бетонных	2

## 5.2. Применение добавок для улучшения технологических характеристик бетонной смеси: повышения удобоукладываемости (перекачиваемости) бетонной смеси и растворов

Удобоукладываемость бетонной смеси назначается в зависимости от типа конструкций и способа формирования по СНиП 3.09.01 и СНиП 5.01.23.

Подвижность бетонной смеси с пластифицирующими добавками назначается на 2-4 см ниже по сравнению с бетонной смесью без добавок.

Пластифицирующий эффект возрастает как при увеличении дозировки добавок до определенного предела, так и с увеличением исходной подвижности смеси и расхода цемента.

Для некоторых добавок пластифицирующий эффект зависит от способа введения в бетонную смесь пластифицирующих добавок.

Способ введения добавок:

- путем предварительного растворения в воде затворения;
- введение добавки с частью воды затворения в конце перемешивания бетонной смеси.

Пластифицирующие добавки I и II группы необходимо применять для приготовления высокоподвижных и литых бетонных смесей.

*Максимальный разжижающий эффект от применения добавок следует использовать при бетонировании:*

- тонкостенных;
- густоармированных конструкций с высотой бетонирования формуемого слоя бетона более 80 см;
- конструкций сложной конфигурации.

При этом для бетонов, подвергаемых тепловой обработке, рекомендуется использовать пластифицирующие добавки I группы (суперпластификаторы).

При использовании высокоподвижных и литых смесей для бетонирования монолитных конструкций из бетонов класса С25/30 и ниже, к которым не предъявляются специальные требования, рекомендуется применять пластифицирующие добавки на основе модифицированных лигносульфонатов (ЛСТМ).

При этом лигносульфонаты, модифицированные в присутствии NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, можно применять для бетонов, подвергаемых

тепловой обработке, а обработанные цементом – для литых и высокоподвижных смесей при необходимости сохранения в течение заданного времени подвижности смеси.

При изготовлении изделий по конвейерной технологии подвижность бетонной смеси должна быть не более 15 см, по агрегатно-поточной – не более 9 см (в зависимости от конкретных условий производства работ допускается до 15 см). Применение бетонных смесей с ОК > 18 см возможно только при стендовой технологии изготовления изделий и конструкций.

Литые бетонные смеси с ОК > 20 см при транспортировке и подаче в формы могут иметь повышенное водоотделение и расслоение. Для уменьшения водоотделения рекомендуется производить корректировку состава бетона путем увеличения доли песка за счет уменьшения доли щебня.

Итак, применение пластифицирующих добавок снижает: расход электроэнергии и сжатого воздуха, цемента; трудозатраты и время формования изделий; уменьшает износ технологического оборудования.

При этом повышается производительность технологических линий и происходит быстрый рост прочности.

### **5.3. Применение добавок для получения бетонов повышенной прочности**

В современном бетоноведении применяется и совершенствуется новое поколение бетонов, получивших в мировом научном сообществе название «High Performance Concrete».

Появление таких бетонов открыло новую эру в строительстве. Их уникальные свойства: высокая прочность и коррозионная стойкость, водонепроницаемость и морозостойкость, регулируемая деформативность – позволили реализовать такие строительные проекты, о которых еще сравнительно недавно трудно было даже мечтать.

Высококачественные бетоны обеспечивают высокие гарантированные параметры эксплуатационной надежности зданий и сооружений в условиях сложных воздействий окружающей среды и нагрузок.

В российском бетоноведении под *высококачественными* бетонами понимают легко укладываемые бетоны на гидравлических вяжущих, сочетающие высокие показатели прочностных свойств



(классы по прочности на сжатие от В 40 и выше до В 90, что соответствует маркам по прочности М600-М1200 и более) и темпов твердения (прочность в возрасте суток естественного твердения не менее 25...30 МПа) с требуемыми показателями строительно-технических характеристик.

Экономический эффект в строительстве определяется снижением материалоемкости, уменьшением энерго- и трудозатрат и применением техногенных отходов, значительным увеличением долговечности и, как следствие, увеличением срока межремонтной эксплуатации и снижением эксплуатационных расходов, связанных с функционированием зданий и сооружений и проведением ремонтных работ.

Введение добавок в бетонную смесь не исключает применения технологических факторов повышения долговечности бетона (качество исходных материалов, состав бетона, технология приготовления и укладки, режим твердения и другие), а в ряде случаев позволяет исключить их отрицательное влияние.

Для получения бетонов классов по прочности на сжатие С 35/45 и выше необходимо использование целого ряда технологических факторов и в том числе обязательное применение пластифицирующих добавок I и II группы или комплексных на их основе в сочетании с ускорителями твердения ( $\text{ХК CaCl}_2$  и  $\text{Ca(NO}_3)_2 \text{ НК}$ ).

Применение пластифицирующих добавок I группы (суперпластификаторов) позволяет получать:

тяжелые бетоны классов С 35/45...С 50/60 на портландцементях марок 500 и 550, рядовых заполнителях из бетонной смеси подвижностью 2...4 см;

тяжелые бетоны классов С 35/45...С 40/50 на портландцементе М 600 и мытых высококачественных заполнителях из литых (ОК – 20...22 см) бетонных смесей или бетон класса С 70/85...С80/90 и выше из бетонных смесей подвижностью 2...4 см и менее;

быстротвердеющие бетоны прочностью  $R = 20...40$  МПа через 24 ч (в Беларуси) твердения в нормальных условиях в комплексе с ускорителями твердения на рядовых составляющих бетонной смеси при водоцементном отношении В/Ц = 0,23...0,30. В США прочность 24,5 МПа достигается в течение 5...7 часов.

Для обеспечения низкого водоцементного отношения бетонной смеси пластифицирующие добавки I и II группы рекомендуется вводить в повышенных дозировках. При этом следует учитывать,

что это может привести к повышенному воздухововлечению в бетонную смесь, а соответственно и к снижению прочности бетона.

Для уменьшения эффекта воздухововлечения следует ограничить время перемешивания бетонной смеси в бетоносмесителе, увеличить долю мелкого заполнителя или вводить тонкомолотые добавки (золы ТЭС и другие).

При выборе химических добавок для изготовления бетонов повышенной прочности обязательно следует учитывать их влияние на однородность прочности бетона.

#### **5.4. Применение добавок для повышения морозостойкости и водонепроницаемости цементного бетона**

Для повышения морозостойкости бетонов из жестких и мало подвижных смесей (П1) следует применять пластифицирующие добавки I...III группы.

Пластифицирующие добавки IV группы (или пластифицирующе-воздухововлекающего действия), воздухововлекающие и газообразующие добавки рекомендуется применять для пластичных смесей.

Для получения бетонов марок по морозостойкости F150, F200 следует применять пластифицирующие, пластифицирующе-воздухововлекающие и газообразующие добавки, а для бетонов более высокой морозостойкости F250, F400 – комплексные химические добавки – сочетания пластифицирующих и воздухововлекающих или пластифицирующих и газообразующих. Количество последних назначают таким образом, чтобы после перемешивания в производственном смесителе, транспортирования и укладки бетонной смеси в изделия объем вовлеченного воздуха был 4...6 %, а выделившегося газа – 1,5...2,5 % по объему.

При технико-экономическом обосновании комплексные химические добавки допускается применять и для бетонов марок F150, F200.

*Все пластифицирующие добавки I...IV групп* повышают водонепроницаемость бетона за счет снижения водоцементного отношения и формирования *мелкопористой структуры*. При этом больший показатель характерен для бетонов с В/Ц < 0,5 и приготовленных на портландцементе.

Для получения *особо плотных бетонов* ( $W8$  и более) наряду с уплотняющими добавками рекомендуется применять пластифицирующие добавки I группы.

Для повышения водонепроницаемости бетонов ( $W6$  и более) из пластичных смесей ( $OK = 6...8$  см и более) следует применять уплотняющие кольматирующие добавки (сульфат алюминия, сульфат железа) или комплексные – уплотняющие СА и пластифицирующие С-3.

Введение воздухововлекающих добавок и ускорителей твердения повышает на  $0,5...1$  ступень водонепроницаемость бетонов  $W$  за счет формирования более благоприятной пористой структуры материала.

При снижении водоцементного отношения бетона (для равноподвижных смесей) эффективность воздухововлекающих и пластифицирующе-воздухововлекающих добавок несколько возрастает, однако только для пластичных смесей.

## **5.5. Применение добавок в легких цементных бетонах**

При изготовлении панелей и конструкций из легких конструкционных бетонов рекомендуется применять все химические добавки по аналогии с тяжелыми бетонами с учетом особенностей, изложенных ниже.

Применение пластифицирующих добавок рекомендуется в первую очередь при использовании мелких заполнителей (золы и золошлаковой смеси ТЭС, вспученный перлитовый песок и другие) с повышенной водопотребностью. Уменьшение водосодержания, вызывающее повышение плотности бетона, при необходимости следует компенсировать увеличением объема вовлеченного воздуха и соответственно расхода воздухововлекающей добавки.

*При применении пластифицирующих добавок для легких конструкционных бетонов следует учитывать:*

- повышенную расслаиваемость высокоподвижных и пластичных легкобетонных смесей вследствие различий в плотности отдельных составляющих;
- повышение (увеличение) средней плотности  $\rho_0$  легкого бетона в сухом состоянии при уменьшении водосодержания пластифицированных бетонных смесей;

- уменьшение количества активно действующей добавки вследствие поглощения ее вместе с водой затворения пористыми заполнителями;
- наличие пылевидных фракций в пористых песках и золах ТЭС, уменьшающих эффект пластификации;
- эффект воздухоовлечения при перемешивании легкобетонных смесей с пластифицирующими добавками;
- ускоренную потерю подвижности пластифицированных легкобетонных смесей вследствие поглощения воды пористыми заполнителями в процессе выдерживания и транспортирования смеси.

Дозировка пластифицирующих добавок для легких конструкционных бетонов с мелким плотным заполнителем должна быть в тех же пределах, что и для тяжелых бетонов и несколько выше для бетонов, приготовленных с мелким пористым заполнителем.

Для уменьшения расслаиваемости высокоподвижных и литых бетонных смесей преимущественно следует использовать заполнители фракции 5...10 мм с плотностью зерна, близкой к требуемой плотности бетона, а в качестве мелкого заполнителя – пористые пески и смеси плотных и пористых песков.

Легкобетонную смесь следует приготовить в смесителях принудительного действия. Время перемешивания смеси должно составлять 3-4 мин.

Способ транспортирования бетонной смеси от смесителя к посту формирования должен исключать возможность расслоения смеси и потери вовлеченного воздуха. Высота падения бетонной смеси при перегрузках не должна превышать 1 м, а их количество не должно быть более двух. Продолжительность выдерживания легкобетонных смесей не должна превышать 30 мин.

Таблица 5.7

### Виды добавок, запрещенные для отдельных видов изделий

№ поз.	Изделия и конструкции, условия их эксплуатации	Запрещается введение добавок
1	2	3
1	Предварительнонапряженные железобетонные изделия и конструкции	ХК, ХЖ, ННХК, УПБ, ЛМГ, ПВК
2	Те же армированные сталью группы III (по табл. 9 СНиП 2.03.11)	ХК, ХЖ, ННХК, УПБ, НК, ННК, ЛМГ, ПВК

1	2	3
3	Железобетонные изделия и конструкции:	
3.1	с ненапрягаемой рабочей арматурой диаметром 5 мм и менее	ХК, ХЖ, ЛМГ, ПВК
3.2	Имеющие выпуски арматуры или закладные детали:	
3.2.1	без специальной защиты стали	ХК, ХЖ, ННХК, ЛМГ, ПВК
3.2.2	с цинковыми покрытиями стали	НК, ЛМГ, ННК, БХН, БХК, ПВК
3.2.3	с алюминиевыми покрытиями стали	ХК, ХЖ, СН, ТНФ, БХН, БХК, НН, НН <sub>1</sub> , ПВК, ЛМГ
3.3	предназначенные для эксплуатации	
3.3.1	в агрессивных газовых средах	ХК, ХЖ, ПВК, ЛМГ
3.3.2	в зоне переменного уровня воды и в зонах действия блуждающих постоянных токов от посторонних источников	ХК, ХЖ, ННХК, ПВК, ЛМГ
3.3.3	в агрессивных сульфатных водах и в растворах солей и едких щелочей при наличии испаряющих поверхностей	ХК, ХЖ, ННХК, НК, ННК, ПВК, ЛМГ
3.3.4	в жидких и газовых средах в нормальном, влажном и мокром режимах при наличии в заполнителе включений реакционноспособного кремнезема	ХК, ХЖ, СН, ТНФ, НН, НН <sub>1</sub> , ТБН, БХН, БХК, ПВК, ЛМГ
3.4	Для электрифицированного транспорта и промышленных предприятия, потребляющих постоянный электрический ток	ХК, ХЖ, ННХК, СН, ТНФ, СА, СЖ, НК, ННК, НН, НН <sub>1</sub> , ТБН, БХН, БХК, ПВК, ЛМГ
4	Бетонные изделия и конструкции, предназначенные для эксплуатации в условиях, указанных в п. 3.3.4 настоящей таблицы	СН, ТНФ, НН, НН <sub>1</sub> , ТБН, БХН, БХК, ПВК, ЛМГ

В США и странах ЕС ограничено применение  $\text{CaCl}_2$  в качестве ускорителя твердения бетона и начато применение бесхлоридных ускорителей.

В EN есть классы бетона по содержанию хлоридов ( $\text{Cl}_{0,1}$ ,  $\text{Cl}_{0,2}$ ,  $\text{Cl}_1$ ).

## Сведения о добавках, выпускаемых в Республике Беларусь

Наименование добавки и номер нормативного документа	Вид добавки по СТБ 1112-98	Наименование документа, регламентирующего применение добавки	Изготовитель добавки или исходных компонентов
Разжижитель С-3 ТУ 6-36-0204229-625-90 нафталин-сульфокислота + формальдегид	Пластифицирующие добавки I группы (суперпластификаторы)	Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий. М., Стройиздат, 1989	Завод СЖБ № 12 г. Мозырь
Пластификатор СПС (смесь натриевых солей) СТБ 1414-03	Пластифицирующие добавки II группы (сильно пластифицирующая)	Рекомендации по применению суперпластификатора СПС. Полоцкий ГУ и БелНИИС, 1996	Завод БВК, г. Новополоцк
Добавка для бетонной смеси ЛМГ ТУ 234 БССР 372-89 лигносульфонат технический, модифицированный галитовыми отходами)	Пластифицирующие добавки III группы (среднепластифицирующая)	Рекомендации по приготовлению и применению комплексной добавки для бетонной смеси ЛМГ при изготовлении сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций и изделий (ПКТБ с ОП Минстроя БССР. Мн., 1986)	ЛСТ – Калининградский ЦБК (Россия); натрий хлористый – Солигорский калийный комбинат; спиртовая фракция капролактама ПРУП «Азот», г. Гродно
Щелочной сток производства капролактама*	Пластифицирующие добавки IV группы (слабопластифицирующая)	Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий. М., Стройиздат, 1989	ПРУП «Азот», г. Гродно

\* Представляет собой негорючую жидкость без механических примесей с массовой долей сухого вещества 25...45 %. По степени воздействия на организм ЦСПК относится к веществам 4-го класса опасности (ГОСТ 12.1.007-76), является отходом производства капролактама, выпускается по ТУ 113-03-488-84.

1	2	3	4
Сульфат натрия (СН) ГОСТ 6318-77 ТУ 38-1-742-78	Ускоряющая твердение	Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий. М., Стройиздат, 1989	Химические комбинаты г. Светлогорск и Могилев
Полиметаллический водный концентрат ПВК СТБ 1113-98. Природный высококонцентрированный рассол, добываемый откачкой из скважины или как попутный продукт при разработке нефтяных месторождений	Ускоряющая твердение и противоморозная II группы замерзает при $-10^{\circ}\text{C}$ (или $-23\dots(-30^{\circ}\text{C})$ )	Руководство по применению ПВК при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и строительных растворов. Мн., 1996, и Рекомендации по применению ПВК в качестве противоморозной добавки в бетон. Мн., 1996	ПО «Белгеология» ПО «Беларусьнефть»

В настоящее время потребности в энергии Беларусь обеспечивает приблизительно на 15 % за счет собственных энергоресурсов. Имеется два пути решения проблемы энергосбережения страны. Первый путь – это закупки топлива и электроэнергии за рубежом. Второй путь – эффективное использование всех видов энергетических ресурсов на всех стадиях энергетической цепочки, от получения до конечного потребления энергии. Первый путь требует больших затрат, второй – позволяет с минимальными затратами достичь положительного результата за счет снижения потребления энергии на единицу продукции.

В Беларуси для решения энергосбережения страны выбран второй путь – эффективного использования всех видов энергетических ресурсов.

## ЛИТЕРАТУРА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

1. «Энергоэффективность» – ежемесячный журнал.
  2. «Белорусский строительный рынок» – рекламно-информационный бюллетень, выходит 2 раза в месяц.
  3. «Строительство и недвижимость» – газета.
  4. «Белорусская строительная газета».
  5. «Белорусская газета» – еженедельная газета, один раз в месяц дает анализ по современным теплоизоляционным строительным материалам и энергосбережению.
  6. Пособие П1-99 к СНиП 3.03.01-87 «Теплоизоляция наружных стен зданий эффективными плитными материалами (термошуба)»
  7. Пособие ПЗ-2000 «Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений» к СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».
  8. Аналитические обзоры – [www.SciTecLibrary.htm](http://www.SciTecLibrary.htm) «Энергоэффективное (экологическое) строительство».
  9. Информация акционерного общества «Максимир» – [www.uteplitel.ru](http://www.uteplitel.ru) «Штукатурная система наружного утепления фасадов»
  10. Информация ЗАО «МонАрх и Б» – [www.monarhib.chat.ru](http://www.monarhib.chat.ru) «Ячеистые бетоны».
  11. Теплоизоляция: справочник материалов (опубликовано 1 декабря 1999 г. Group InterMobile с согласия ООО «Спаэро»).
  12. Журнал-справочник «Все для стройки и ремонта» № 7 от 1998 г.
  13. Теплый дом: справочник. – М.: ИА «NORMA», 2000. – 402 с. – (Универс. справ. застройщика).
- В книге представлены материалы, относящиеся к отоплению жилища, сохранению в нем тепла, обогреву и поддержанию микроклимата, а также дан обзор российского рынка теплоизоляционных материалов как отечественного, так и импортного производства.
14. П5-02 к СНиП 3.03.01-87 «Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений. Система «Радекс».
  15. Сборник рекомендаций. – Минск, 2003. – Система «ПАРАЛЕСКА-ТЕРМО».



16. «Мастерская» – Белорусский аналитический журнал для практиков строительного дела. Выходит с марта 2004 года.

17. Соколовский, Л.В. Энергосбережение в строительстве. – Минск: НПООО «Стринко», 2000. – 92 с.

18. Соколовский, Л.В., Кузьмичев, Р.В. Современные ограждающие конструкции. – Минск: РУП «Минсктипроект», 2004. – 277 с.

19. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» // Энергоэффективность. – 1998. – № 7. – С. 2–5.

20. СТБ 1112-98 «Добавки для бетонов. Общие технические условия».

21. П1-99 «Применение добавок в бетоне» к СНИП 3.09.01-85. Производство сборных железобетонных конструкций и изделий. – Минск: Мин-во строительства и архитектуры Республики Беларусь, 2000.

22. Домокеев, А.Г. Бетоны и изделия из них. Добавки к бетону // Строительные материалы: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – Гл. 6.

23. СТБ 1113-98. «Полиметаллический водный концентрат. Технические условия».

24. Стройиндустрия и промышленность строительных материалов: энциклопедия / Гл.ред. К.В.Михайлов. – М.: Стройиздат, 1996. – 206 с.

25. [www.stroymat.ru](http://www.stroymat.ru)

26. [www.zastroika.by](http://www.zastroika.by)

При поиске информации по энергоэффективным технологиям имеет смысл в первую очередь обратиться на Web-серверы организаций, занимающихся этими проблемами. В настоящее время практически все периодически издаваемые журналы и организации, связанные с проблемами энергоресурсосбережения, экологии и т.п., имеют свои сайты в Интернете. Примерами периодически издаваемых журналов могут служить «АВОК», «Энергосбережение», «Энергоэффективность», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», «Энергосбережение и водоподготовка», «Энергия и менеджмент», «Энергетик», «Энергетика за рубежом» и многие другие. Свои сайты имеют такие организации, как Белорусская ассоциация промышленных энергетиков ([www.energocentre.nsys.by](http://www.energocentre.nsys.by)), энергосервисная компания «Экологические системы» ([www.escoecosys.narod.ru](http://www.escoecosys.narod.ru)) и др.

Поиск информации в сети по ключевым словам можно осуществлять с помощью таких поисковых систем, как [www.google.com](http://www.google.com), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru), [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.au.ru](http://www.au.ru), [www.altavista.com](http://www.altavista.com), [www.all.by](http://www.all.by) и др. Ключевыми могут быть конкретно определенные слова, соответствующие данной теме. Например, по теме «Энергоэффективность в жилищно-коммунальном хозяйстве» ключевыми могут служить слова «тепловая изоляция», «предызолированные трубы», «тепловой насос», «энергосбережение», «энергоэффективность», «эффективность» и др.

В результате обработки запроса по ключевым словам различными поисковыми системами выдается огромный список аннотаций по документам, найденным на заданную тему. При этом зачастую возникает эффект «снежного кома» – одна информация «накручивает» другую, затрагиваются параллельные темы, не менее нужные и интересные для пользователя-искателя. Большой объем информации затрудняет работу. Поэтому для удобства целесообразно всю найденную информацию сводить в таблицу с указанием названия организации или издания и основной тематической направленности, например:

Название и адрес	Тематика
<p><b>Энергосбережение</b> (журнал)  <a href="http://www.abok.ru/forma.php.en_mag">http://www.abok.ru/forma.php.en_mag</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• новые разработки по энергоресурсосбережению в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства и энергетики</li> <li>обзорно-аналитическая и справочная информация о состоянии российского рынка товаров и услуг в области строительства, жилищно-коммунального хозяйства и энергетики и т.д.</li> </ul>

Как правило, электронные издания периодически издаваемых журналов предлагают содержание по годам выпуска, во многих журналах есть материалы статей и возможность их записать на электронный носитель.

Таким образом, использование поиска по ключевым словам с использованием различных поисковых систем и создание базы ссылок на основе полученной информации позволяет:

- осуществить обзор информации по интересующей теме, предлагаемой различными источниками Интернета;
- повысить уровень новизны информации;
- мобильность Интернета позволяет получать информацию независимо от наличия ее в других источниках;
- схемы, рисунки, фотографии, информация по ценам и поставщикам определенной продукции, контактные телефоны и т.д. делают информацию наглядной, могут оказать помощь энергоспециалисту и другим заинтересованным лицам.

Учебное издание

ЗМАЧИНСКИЙ Александр Эмильевич  
ГАЛУЗО Олег Геннадьевич

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

КУРС ЛЕКЦИЙ

Учебно-методическое пособие

Редактор Т.Н. Микулик  
Технический редактор О.В. Дубовик  
Компьютерная верстка О.В. Дубовик

---

Подписано в печать 24.09.2007.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 13,14. Уч.-изд. л. 10,27. Тираж 300. Заказ 191.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.