

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова

## БАЗОВЫЕ КОНЦЕПЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Учебное пособие к освоению дисциплины  
«Проектирование комфортных зданий»  
для студентов, обучающихся на втором курсе магистратуры  
по направлению 08.04.01 «Строительство»



Белгород  
2024

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова  
Кафедра архитектурных конструкций

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

**БАЗОВЫЕ КОНЦЕПЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

Учебное пособие к освоению дисциплины  
«Проектирование комфортных зданий»  
для студентов, обучающихся на втором курсе магистратуры  
по направлению 08.04.01 «Строительство»

Белгород  
2024

УДК 721.011

ББК 85.118

**Т 19**

Составители: канд. техн. наук, доц. В.Н. Тарасенко

канд. техн. наук, доц. Ю.В. Денисова

Рецензенты: Директор ООО «Цементавтобан» Н.П.Емельянов

Директор ООО «Центр аналитического обеспечения» И.В.Фурманов

**Т 19** **Базовые** концепции проектирования энергоэффективных зданий: Учебное пособие к освоению дисциплины «Проектирование комфортных зданий» для студентов, обучающихся на втором курсе магистратуры по направлению 08.04.01 «Строительство». / В.Н. Тарасенко, Ю.В. Денисова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. – 72 с.

Учебное пособие содержит общие сведения о проектировании энергоэффективных зданий с использованием современных методов и технологических приемов.

Учебное пособие предназначено для освоения дисциплины «Проектирование комфортных зданий» для студентов, обучающихся на втором курсе магистратуры по направлению 08.04.01 «Строительство».

**УДК 721.011**

**ББК 85.118**

© Белгородский государственный  
технологический  
университет(БГТУ) им. В.Г.  
Шухова, 2024

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире уровень энергоэффективности здания является одним из основных показателей качества проекта [1 – 7]. Под энергоэффективностью в строительстве подразумевается достижение рационального использования энергетических ресурсов. Получение максимальной энергоэффективности зданий достигается за счёт снижения теплопотерь и потребления зданиями тепловой энергии, необходимой для поддержания в помещениях требуемых параметров микроклимата. То есть, это понятие неразрывно связано с вопросами энергосбережения [8].

Сохранение энергоресурсов в современном мире — одна из самых актуальных задач. По подсчетам специалистов, половина получаемой энергии расходуется на жилые дома и сооружения. Возведение энергоэффективных зданий становится приоритетной задачей. Эксперты утверждают, что строительство энергоэффективных зданий может оказать серьезную помощь в борьбе с наступающими финансовыми (и, возможно, экономическими) кризисами. Последние десятилетия показывают, что данное утверждение все больше имеет право на жизнь: растут цены на электричество и тепло, остро стоит вопрос эксплуатационных затрат на жилье.

Проблема энергосбережения в строительстве зависит от многих факторов и включает в себя несколько способов снижения потребления энергоресурсов в системах теплоснабжения и вентиляции:

- архитектурно-планировочные;
- конструктивные решения зданий;
- использование возобновляемых источников энергии.

В данном пособии приведен опыт проектирования и строительства энергоэффективных зданий и применения возобновляемых источников энергии в России и зарубежом. Рассмотрен комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности зданий посредством комплекса архитектурно-планировочных и конструктивных решений [1 – 8].

### **1.ПРОБЛЕМА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РОССИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА**

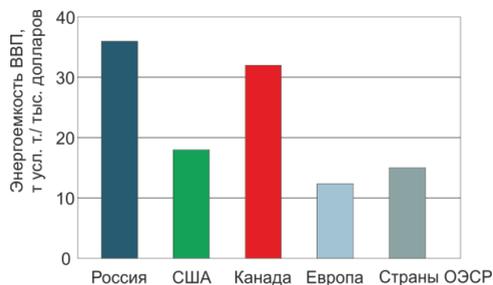
В последние десятилетия в мире происходит расширение электрификации и распространение цифровых технологий во всех сферах экономики [9]. Цифровизация и электрификация

производственных и бытовых процессов позволяют повысить их энергоэффективность и снизить расход топлива и энергии [10]. Вместе с тем, появляются новые потребители энергии, например, центры обработки данных, сети передачи данных, подключенные устройства и т. д. В нашей стране существует большая неопределенность в перспективах развития цифровизации и «новой электрификации» и отсутствуют подходы для их учета в прогнозах.

Цель настоящего исследования состоит в определении возможного диапазона перспективного электро- и энергопотребления в России на период до 2050 г. с учетом развития отдельных крупных секторов экономики.

В 2020 г. потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в России составило 826,9 млн. т у.т., что на 3% меньше, чем в 2019 г. Основной причиной этого снижения стало падение экономической активности, связанное, в частности, с пандемией, из-за которой потребление сократилось на 25,2 млн. т у.т.

За период 2005 – 2020 г. использование тепловой энергии снизилось на 17% благодаря последовательной политике энергосбережения и развитию систем учета тепла. В 2020 г. потребление централизованного тепла в стране (по данным форм статистической отчетности) составляло 1199,7 млн. Гкал. Основными потребителями тепловой энергии в России являются промышленность (34%), домашние хозяйства (33%) и сфера услуг (10%). Сохраняется разрыв в уровне энергоёмкости ВВП России с ведущими странами мира, в основном обусловленный более низким уровнем развития экономики (рис. 1.1).



**Рис. 1.1. Сопоставление энергоёмкости ВВП в России и странах мира, данные за 2021 год**

В 2020 г. энергоёмкость ВВП России превысила среднюю по миру в 1,8 раза, США – в 1,8 раза, ЕС – в 2,5 раза, Японии – в 2,6 раза.

За последние 20 лет использование электроэнергии в России увеличилось более чем на 60%.

По прогнозу Министерства энергетики США на период до 2050 г. в мире ожидается дальнейшее увеличение душевого энерго- и электропотребления населения, обусловленное ростом уровня жизни. При этом в наиболее развитых европейских странах, США и Канаде темпы прироста снижаются или даже становятся отрицательными. Это связано, в том числе, с насыщением основных базовых потребностей (жилье, приборы длительного пользования, приемлемый уровень комфорта) и реализацией мер по повышению теплотехнических свойств ограждающих конструкций зданий.

Для России предполагается сохранение тенденции увеличения потребления энергоресурсов в домохозяйствах при поступательном развитии экономики.

Отечественная промышленность остается крупнейшим потребителем энергоресурсов. В 2020 г. она использовала 523,8 млрд. кВт. В 2020 г. энергопотребление промышленности снизилось на 7,5% по сравнению с 2019 г. из-за санкций и ограничений COVID-19.

Объемы и темпы роста потребления энергии в промышленности определяются рядом факторов, среди них: продуктовая, отраслевая и технологическая структуры промышленного производства, наличие и скорость внедрения новых технологий, энергосбережение и т.д. В сопоставлении с промышленно развитыми странами мира в структуре обрабатывающей промышленности России доля высокотехнологичных малоэнергоёмких отраслей машиностроения и химической промышленности существенно ниже и составляет не более 30%, в то время как в США – 47%, Франции – 51%, Японии – 59%, Германии – 61%. Электроэнергия становится все более важным энергоресурсом для промышленного сектора. За последние 20 лет электровооруженность труда в отечественной промышленности возросла в 1,6 раза, но не достигла уровня промышленно развитых стран [11].

По прогнозу МЭА на период до 2070 г. в одном из сценариев ожидается рост спроса на электроэнергию в промышленности за счет перевода тепло- и топливёмких процессов на новые электрические технологии в черной металлургии и химической промышленности. Транспортный сектор в России является основным потребителем нефтепродуктов. В 2019 г. на долю транспорта приходилось 16% конечного энергопотребления страны и почти 90% внутреннего спроса на нефтепродукты. Более 40% потребления ТЭР на транспорте приходится на трубопроводный транспорт (газо- и нефтепроводы),

21% – на сухопутный (в основном, это автодорожный грузовой и общественный транспорт).

Глобальный тренд в транспортном секторе – рост доли экологичных видов транспорта в структуре пассажирских и грузовых перевозок [12]. Электромобилизация становится одним из основных направлений развития транспорта. Доля электромобилей в продажах всех легковых автомобилей на мировом рынке возросла с 2,5% в 2019 г. до 4,2% в 2020 г. [13]. По оценкам МЭА, к 2070 г. удельный вес парка электрифицированного транспорта составит почти 90% общего автопарка, примерно две трети автобусов будут электрическими. В перспективе под влиянием структурных трансформаций и повышения доли новых перспективных энергоносителей будет меняться структура спроса на ТЭР в транспортном секторе. По зарубежным прогнозам на период до 2050 г. ожидается дальнейшее сокращение удельного веса нефтепродуктов в европейских странах и в Китае в 1,5 раза, в Японии, США и Канаде – на 13-24% с повышением доли электроэнергетики и природного газа.

Анализ российских и зарубежных прогнозов показывает, что в перспективе к 2040-2070 гг. спрос на электроэнергию в мире может возрасти вдвое. Ключевыми факторами роста станут расширение электрификации быта, транспорта, сельского хозяйства, использования электрофизических и электрохимических процессов в промышленности [13], а также развитие новых направлений в экономике. В сценарии «устойчивого развития» предполагается, что электроэнергия будет основным энергоносителем в мировом конечном спросе с увеличением ее доли с 19% в 2019 г. до 47% в 2070 г. [14].

## **2. ИСТОРИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ**

Конец XX и начало XXI века отмечены разработкой и внедрением новых энергосберегающих технологий в проектировании и строительстве зданий.

Толчком к разработке энергосберегающих технологий послужил энергетический кризис 1974–1975 годов. Многие ученые, производственники, государственные деятели стали задумываться об экономии энергоресурсов, так как, по оценкам ряда экспертов, запасов основных источников углеводородов (нефти, газа, угля) осталось на 50–80 лет.

В 1972 году в Манчестере (штат Нью-Гэмпшир, США) было разработано и построено здание кубической формы, что обеспечивало

минимальную поверхность наружных стен; при этом площадь его остекления не превышала 10 %, что позволяло уменьшить потери тепла за счет объемно-планировочного решения. По северному фасаду остекление отсутствовало вовсе. Покрытие плоской кровли было выполнено в светлых тонах, что уменьшало ее нагрев и, соответственно, снижало требования к вентиляции в теплое время года. На кровле здания были установлены солнечные коллекторы.

В 1988 году доктор В. Файст (Германия) и профессор Б. Адамсон (Швеция) предложили технологию строительства энергосберегающих зданий, которую назвали «пассивным» домостроением (нем. Passivhaus, англ. passivehouse).

По немецкой классификации энергоэффективный дом — это дом с ничтожно малым энергопотреблением, здание со столь малым расходом тепловой энергии на отопление, что отдельная система отопления становится ненужной: необходимое тепло можно подвести благодаря уже имеющейся системе вентиляции. При этом максимально допустимый годовой удельный расход тепловой энергии на отопление здания, относящийся к жилой площади, должен составлять  $\leq 15$  кВтч/(м<sup>2</sup>·год). Обязательным условием для соблюдения качества воздуха в прочих помещениях является контролируемая система вентиляции. При этом следует избегать рециркуляции воздуха. Тем не менее приточный воздух этой обновленной системы вентиляции можно использовать для транспортирования небольшого количества тепла (летом – холода). Все живые организмы, находящиеся в здании, выделяют определенное количество тепловой энергии. Так, спокойно сидящий человек имеет тепловую мощность 120 ватт.

В таблице 2.1 приведен примерный расход тепловой энергии для индивидуального жилого здания в зависимости от года строительства.

Таблица 2.1

**Примерный расход тепловой энергии по типам зданий в Германии**

Индивидуальный жилой дом общей площадью 140 м <sup>2</sup>	Годовой расход тепла, кВт×ч/ м <sup>2</sup> ×год	Удельный расход тепла, кВт×ч/ м <sup>2</sup>
Типовое здание 1970 года постройки	200	91
Типовое здание 1980 года постройки	150	68
Дом низкого энергопотребления 1990 года постройки	0-70	14-32
Дом ультранизкого энергопотребления	30-15	14-7
Современный «пассивный» дом	Менее 15	Менее 7

Доктором В.Файстом и другими учеными–строителями были разработаны критерии для строительства «пассивных» домов:

- удельный расход тепловой энергии на отопление не должен превышать  $15 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ;
- общее потребление энергии для всех бытовых нужд (отопление, горячая вода и электрическая энергия) не должно превышать  $120 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

На рис. 2.1 – 2.3 показано поперечное сечение «пассивного» дома, рисунки отражают основные принципы, используемые в проектировании энергоэффективных зданий[8].



**Рис. 2.1. Основные принципы, которые следует учитывать при проектировании энергоэффективных зданий**

Следует выделить основные приемы проектирования энергоэффективных зданий: правильный выбор объемно-планировочного и конструктивного решения здания, создание герметичности наружной оболочки здания (с учетом замкнутого теплового контура), вентиляция с рекуперацией тепла и учет дополнительного тепла, полученного из вне за счет солнечных батарей, ветровых элементов и так далее.

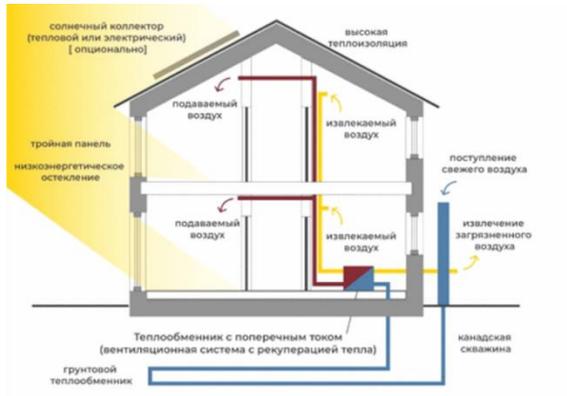
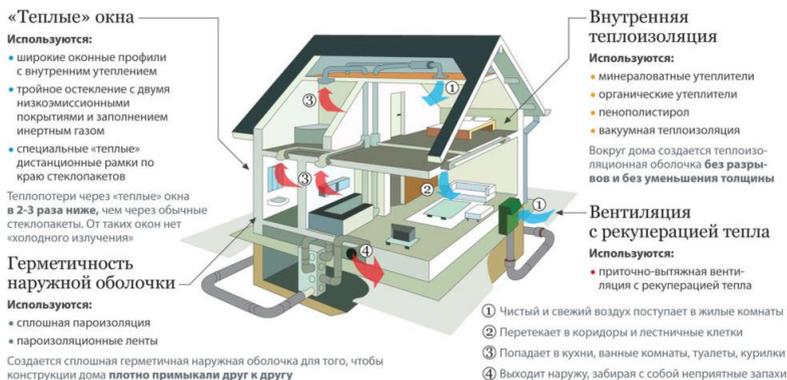


Рис. 2.2. Схема энергоэффективного здания



**Рис. 2.3. Основные приемы проектирования «пассивного» дома**

### **3. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОГРАЖДЕНИЙ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ВЫПОЛНИТЬ ТЕПЛОВОЙ КОНТУР ЗДАНИЯ МАКСИМАЛЬНО УДЕРЖИВАЮЩИМ ТЕПЛО**

Утепление наружных стен является важным мероприятием, позволяющим существенно снизить затраты на отопление.

Утепление стен дома может быть внешним и внутренним. Однако при внутреннем утеплении стен есть ряд особенностей, которые нужно учесть. При данном способе утепления ограждающая конструкция не аккумулирует тепло. На стене внутри дома может появляться грибок, так как между теплоизоляционным слоем и внутренней стеной будет возникать конденсация, что неблагоприятно сказывается на долговечности и прочности конструкции. Все перечисленные недостатки отсутствуют при внешнем утеплении стен. К тому же внешнее утепление стен обеспечивает больший срок службы дома, так при таком утеплении практически отсутствует возможность образования различных грибков на стенах и несущие стены дома с внешней стороны дополнительно защищены от негативного воздействия окружающей среды. Важный плюс внешнего утепления стен для небольших домов – экономия внутреннего жилого пространства.

Утепление стен с наружной стороны имеет ряд преимуществ:

– использование эффекта аккумуляции тепла несущими конструкциями здания;

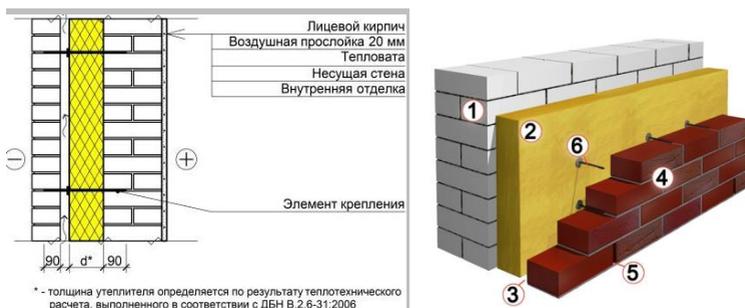
- вынос «точки росы» за пределы несущей конструкции;
- не уменьшается полезный объем помещения.

Для утепления наружных стен рекомендуется использовать приведенные ниже способы.

*Многослойная («колодезная») кладка* (рис. 3.1) выполняется при новом строительстве. Она является одним из самых традиционных способов возведения кирпичных стен.

Так как в данном случае ремонтно-восстановительные работы невозможны, к утеплителю применяются специальные требования. Основными из этих требований являются: устойчивость к деформациям и влагостойкость.

В трехслойной системе утепления стен устройство воздушного зазора имеет наибольшее значение по сравнению с другими системами, так как паропроницаемость внешнего слоя из облицовочного кирпича хуже, чем паропроницаемость теплоизоляционного слоя.



**Рис. 3.1.** Схема утепления при многослойной кладке: 1 – несущая стена; 2 – утеплитель; 3 – лицевой кирпич; 4 – элемент крепления.

Навесная фасадная система с воздушным зазором называется *вентилируемым фасадом*. Наиболее перспективными считаются навесные вентилируемые фасадные системы с воздушным зазором (рис. 3.2). Данная конструктивная система позволяет не только утеплить фасад, но и применяется для облицовки и защиты ограждающих конструкций, а также придает архитектурную выразительность зданию.

Одним из основных критериев выбора теплоизоляционных материалов для вентилируемых систем является плотность материала. Нижний предел плотности минераловатного утеплителя составляет 30 – 50 кг/м<sup>3</sup>, а верхний 70 – 100 кг/м<sup>3</sup>.





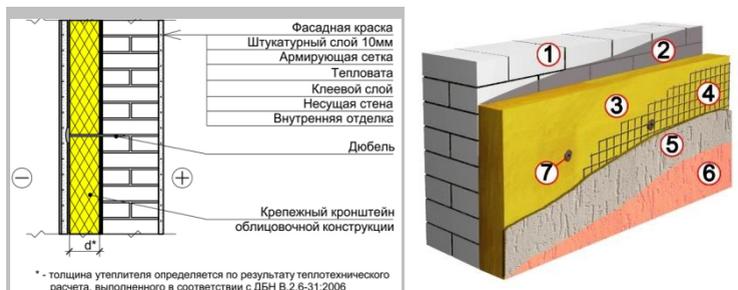
**Рис. 3.2. Схема утепления «вентилируемый» фасад:** 1 – несущая стена; 2 – утеплитель; 3 – ветрозащитная мембрана; 4 – вентиляционный зазор; 5 – кронштейн; 6 – облицовка; 7 – дюбель.

Практика показала, что это действительно оптимальная плотность материалов и подбирать её необходимо в зависимости от этажности здания и скорости движения воздуха в вентиляционной щели. В малоэтажном строении (1 – 2 этажа) допускается применение легких материалов. При увеличении этажности растет и плотность используемых теплоизоляционных плит. При высоте здания более 10 метров уже рекомендуется применение плит плотностью более 70 кг/м<sup>3</sup>. Такие плиты достаточно жесткие, их можно надежно зафиксировать в вертикальном положении (они не сползают). Достаточно часто в строительной практике используется двухслойная изоляция, что, в принципе, не может не приветствоваться, поскольку плитами второго слоя теплоизоляции удастся перекрыть стыки плит первого слоя и тем самым уменьшить теплопотери.

Утеплитель в данном случае крепится к несущей стене дюбелями, либо вставляется в каркас (который крепится к стене). Для такого фасада лучше применять минеральную вату (в плитах) или пенополистирол, с плотностью от 45 до 100 кг/м<sup>3</sup>. Утеплитель обязательно защищать снаружи ветрозащитной супердиффузионной мембраной.

Ширина воздушной прослойки в вентилируемом фасаде должна быть не менее 10 мм и не более 100 мм. Оптимальная ширина воздушной прослойки составляет 60 мм (по результатам пожарных испытаний).

*Фасад со штукатурным покрытием («мокрый» фасад)* представлен на рис. 3.3.



**Рис. 3.3. Схема утепления «штукатурный» фасад:** 1 – несущая стена; 2 – клеевой слой; 3 – утеплитель; 4 – армирующая сетка; 5 – слой штукатурки; 6 – фасадная краска; 7 – дюбель.

Наряду с другими способами утепления приобрели популярность системы наружной теплоизоляции домов со штукатуркой или «штукатурные» фасады.

Согласно нормативной документации в Российской Федерации штукатурные фасады рассматриваемого типа определяются как система фасадная теплоизоляционная композиционная с наружными штукатурными слоями (СФТК) – совокупность материалов и изделий, определяемая комплектом технических решений системодержателя по устройству СФТК в виде последовательно устраиваемых слоев, прошедшей в данном составе техническую апробацию и предназначенной для установки на внешней поверхности стен зданий в процессе их строительства, реконструкции и капитального ремонта.

Производители данных систем выделяют два вида конструкции, которые отличаются элементами крепления, армирования и толщиной штукатурного слоя: тонкослойные и толстослойные.

В тонкослойном штукатурном фасаде слой утеплителя приклеивают к наружной поверхности стены специальным клеем и закрепляют тарельчатым дюбелем, армируют стеклотканевой тонкой сеткой, а штукатурный слой не превышает 5 мм.

В толстослойном штукатурном фасаде крепление утеплителя происходит на специальную систему анкеров и кронштейнов, армирование происходит с использованием стальной сетки, а штукатурный слой может достигать 50 мм и более.

Одним из преимуществ штукатурного фасада с наружным утеплением является возможность применения на любых видах стен, как прямо- так и криволинейных, выполненных из монолитного или сборного железобетона, кладки из природных и искусственных камней.

Так же данный вид отделки не ограничен в выборе материала утеплителя, для конструкции «мокрого» фасада подходят как плиты на основе вспененного полистирола, так и минераловатные плиты. У обоих материалов есть свои преимущества и недостатки, но все же для «мокрого фасада» минераловатные утеплители плитного типа считают предпочтительными. При примерно равных значениях показателей теплопроводности, минеральная вата обладает значимым достоинством – паропроницаемостью.

Однако, наибольшее многообразие отмечено в видах финишного штукатурного слоя. В зависимости от предъявляемых к покрытию требований используют смеси различного состава, колерованные заранее или с необходимостью нанесения последующего слоя краски, и с возможностью создания не только гладких стен, но и придания им определенной фактуры (табл. 3.1).

Таблица 3.1

#### Виды штукатурных составов для штукатурных фасадных систем

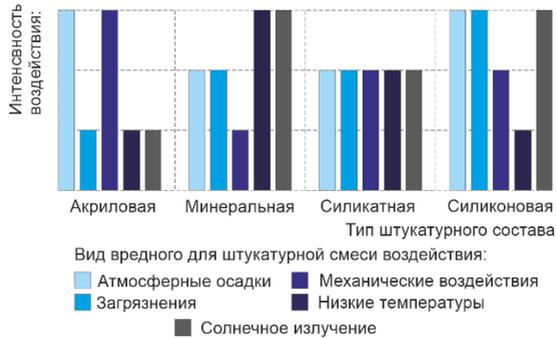
Наименование штукатурной смеси	Состав	Срок безремонтного срока эксплуатации
Акриловая	Акриловые смолы, модификаторы, красители, наполнитель	~ 20 лет
Минеральная	Легкий натуральный наполнитель, мраморный гранулят, гидрат извести, портландцемент	~ 15 лет
Силикатная	Силикат калия и кальция (жидкое стекло), модификаторы, наполнители	~ 25 лет
Силиконовая	Силиконовые эмульгированные смолы, спец. присадки, минеральные наполнители	~ 25 лет

На сегодняшний день к наиболее надежным и долговечным относят силиконовые штукатурные смеси, как наиболее устойчивые к различным внешним воздействиям (рис. 3.4).

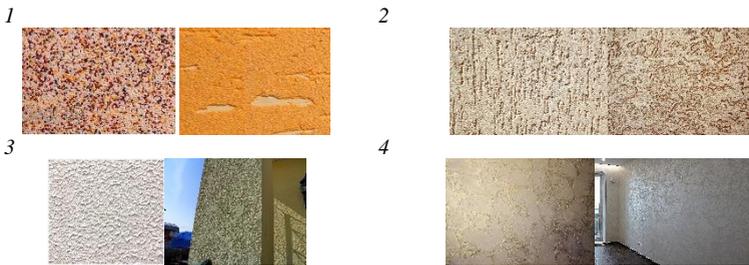
Самыми популярными фактурами поверхности штукатурного слоя являются мелкозернистая, «короед», под «шубу». Однако, на сегодняшний день, фактуры могут выполняться любого вида, все зависит от требований заказчика (рис. 3.5) [10– 12].

Важным источником энергии по прежнему остается солнце, поэтому следует отметить активное развитие *фотозлектрических фасадных систем*. Существует несколько способов интеграции «активной солнечной» технологии в здания - солнечные коллекторы и батареи (рис. 3.6), представляющие собой фотозлектрические панели,

которые применяются для нагрева воды, обогрева помещений и системы охлаждения, а также ВРРВ и ВАРРВ станции [13].



**Рис. 3.4. Сравнение различных штукатурных составов на сопротивление агрессивному воздействию окружающей среды**



**Рис. 3.5. Виды фактур штукатурных фасадных систем: 1 – мелкозернистая; 2 – «короед»; 3 – под «шубу»; 4 – варианты венецианской штукатурки.**



**Рис. 3.5. Виды улавливающих солнечную энергию устройств: 1 – солнечные коллекторы; 2 – солнечные батареи.**

На сегодняшний день компании – производители фотоэлектрических модулей предлагают ассортимент модулей с различными вариантами исполнения. Возможно использование разных цветов для фронтального и заднего стекла, что позволяет получить широкий спектр технических решений.

### **3.1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Анализ опыта различных стран в решении проблемы энергосбережения [2 – 21] показывает, что одним из наиболее эффективных путей ее решения является сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий, сооружений, промышленного оборудования и тепловых сетей. В этой связи обращает на себя внимание интенсивное развитие в рассматриваемых странах промышленности теплоизоляционных материалов. В некоторых странах, таких, например, как Швеция, Финляндия, Германия, США и др., объем выпуска теплоизоляционных материалов на душу населения в 5 – 7 раз превышает выпуск утеплителей на одного жителя в России.

Расчеты показывают, что потребность только жилищного сектора строительства в эффективных утеплителях в 2010 году составила 25 – 30 млн. м<sup>3</sup>.

Настоящие установленные (проектные) мощности страны по всем видам теплоизоляционных материалов оцениваются в 17 – 18 млн. м<sup>3</sup> в год. Объем производства теплоизоляционных материалов в 2002 году составил при этом 8 млн. м<sup>3</sup>.

Основным видом применяемых в России утеплителей являются минераловатные изделия, доля которых в общем объеме производства и потребления составляет более 65 %. Около 8 % приходится на стекловатные материалы, 20 % – на пенополистирол и другие пенопласты. Доля теплоизоляционных ячеистых бетонов в общем объеме производимых утеплителей не превышает 3 %; вспученного перлита, вермикулита и изделий на их основе – 2...3 % (по вспученному продукту).

Структура объемов выпуска утеплителей в России близка к структуре, сложившейся в передовых странах мира, где волокнистые утеплители также занимают 60...80 % от общего выпуска теплоизоляционных материалов.

Распределение объемов выпуска утеплителей по стране характеризуется значительной неравномерностью. Ряд крупных регионов, таких, как Архангельская, Калужская, Костромская,

Орловская, Кировская, Астраханская, Пензенская, Курганская и другие области, а также Республика Марий Эл, Чувашская Республика, Калмыкия, Адыгея, Карелия, Бурятия и др., не имеют своего производства эффективных теплоизоляционных материалов. Многие регионы страны производят утеплители в явно недостаточном количестве.

Относительно благополучным является Северо-Западный регион, а наибольшие проблемы с утеплителями собственного производства имеются в Северном, Поволжском, Северокавказском и Западно-Сибирском регионах.

До периода рыночных реформ большая часть объема выпускаемых минераловатных изделий была ориентирована на промышленную теплоизоляцию, а интересы жилищного строительства, особенно индивидуального, оставались на втором плане. В настоящее время номенклатура выпускаемой продукции все больше отвечает условиям жилищного строительства, где наряду с традиционными требованиями появляются требования по прочности, долговечности, водо- и атмосфероустойчивости.

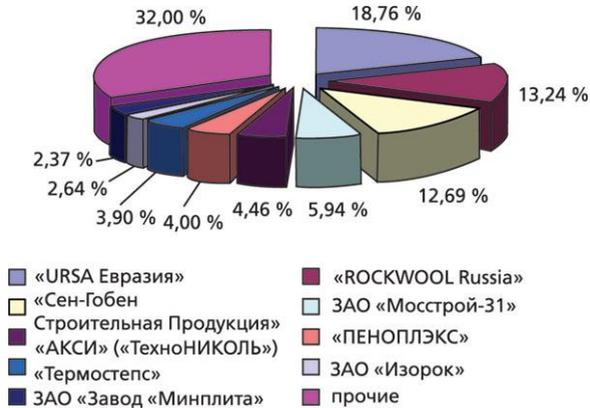
Следует признать, что качество и ограниченная номенклатура отечественных утеплителей, выпускаемых многими предприятиями Российской Федерации, не в полной мере отвечает нуждам жилищного строительства. Это позволяет ведущим фирмам западных стран успешно осваивать рынки России и продавать свою продукцию [15, 16].

По данным РБК, в настоящее время в России насчитывается около 60 производителей теплоизоляционных материалов. Часть из них – крупные компании, производящие продукцию под зарегистрированными и узнаваемыми торговыми марками, другая часть – заводы, производящие продукцию, маркируемую в соответствии с классификацией ГОСТа [39].

Среди крупнейших игроков рынка – компания «УРСА Евразия» (18,76 % рынка в натуральном выражении), входящая в испанский концерн UralitaGroup. Значительную долю также занимает компания «RockwoolRussia» (13,24 %) – российское подразделение датского концерна Rockwool, являющегося крупнейшим в мире производителем теплоизоляции из минеральной ваты. На третьей позиции значится компания «Сен-Гобен Строительная Продукция» (12,69 %), входящая во французский концерн Saint-Gobain.

Среди наиболее крупных отечественных производителей утеплителей необходимо упомянуть холдинги «ТехноНИКОЛЬ», «Термостепс», Группу компаний «Пеноплэкс», а также ЗАО «Завод

«Минплита». Эти компании активно стремятся увеличивать собственное производство. Следует отметить, что у российских компаний есть шанс значительно потеснить иностранных производителей при условии увеличения объемов производства и осуществления активных мероприятий по продвижению собственной продукции на рынке [17] (рис. 3.6).



**Рис. 3.6. Позиции крупнейших производителей на российском рынке теплоизоляционных материалов на 2006 г.** (источник: ABARUS MarketResearch – по данным производителей).

Рынок теплоизоляционных материалов можно сегментировать по определенным показателям (рис.3.7) [18].



**Рис. 3.7. Сегментирование теплоизоляционных материалов по основным признакам.**

На современном российском рынке теплоизоляционных материалов доминируют волокнистые материалы (стекловата, базальтовая вата), а также экструзионный пенополистирол – ЭПП (XPS) и вспененный пенополистирол – ПСБ-С (EPS)[19].

Строительная отрасль – крупнейший потребитель пенополистирола. С ростом объемов строительства и развитием отечественного производства теплоизоляционных материалов из пенополистирола значение этого сырья для индустрии производства строительных материалов возросло многократно. Емкость рынка полистирола в 2000 – 2008 г. увеличилась в 2,3 раза. В 2006 г. по отношению к 2005 г. емкость рынка полистирола выросла на 22 %, что в немалой степени связано с бурным развитием сегмента производства утеплителей из экструдированного полистирола.

В последние годы в сегменте строительных пенополистирольных плит развивается острая конкурентная борьба между вспененным и экструдированным теплоизоляционными пенополистиролами. Качество материала, изготовленного методом экструзии, выше, однако он дороже пенопласта (стоит отметить, что разница в стоимости материалов в последнее время стремительно снижается и сейчас составляет 25 %)[19].

По объемам продаж утеплителя из экструдированного пенополистирола Россия уже догоняет Европу, где объем потребления составил порядка 8 млн. м<sup>3</sup> в 2006 г. Если в нашей стране на долю этого материала приходится 4 % в общем объеме потребляемых теплоизоляционных материалов, то в западноевропейских странах – 5 %. Здесь Россия уже обогнала Восточную Европу (2 %) и США (2 %).

В 2008 г. российский рынок экструдированного пенополистирола переживает непростой этап становления. Пристальный интерес строительных и проектных организаций, частных лиц к этому материалу вызвал ажиотажный спрос. Возникла проблема дефицита XPS. Как следствие, цены доходили до 300 долл. США за 1 м<sup>3</sup>.

Объем мирового рынка плит из экструдированного полистирола (XPS) оценивается примерно в 17,7 млн. м<sup>3</sup>, что составляет порядка 5 % от общего объема потребления теплоизоляционных материалов. Согласно данным «The Freedonia» до 2010 г. рынок рос на уровне 4 % в год.

Следует отметить, что наивысшими темпами объем потребления полистирольных плит растет в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АТР), где темпы прироста в последние годы достигают 7 – 8 % в год, тогда как в развитых странах спрос увеличивается на 2 – 3 %, кроме того, в

последнее время, по оценкам экспертов, темпы роста в США и странах Западной Европы замедляются [19].

Суммарный объем рынка теплоизоляции в России в 2014 году по всем товарным группам в млн. м<sup>3</sup> увеличился на 6,7%. Темпы роста рынка постепенно снижаются, однако рынок теплоизоляции продолжает расти. Наибольшую долю рынка составляют теплоизоляции из стекловаты и минеральной ваты. Преобладающую долю рынка составляют материалы отечественного производства.

Объем импорта теплоизоляции в 2014 году в натуральном выражении уменьшился на 24,5% по сравнению с 2013 годом. В стоимостном выражении объем импорта теплоизоляции в 2014 году уменьшился на 23,3%. Суммарный объем экспорта теплоизоляции из России в млн. м<sup>3</sup> в 2014 году увеличился на 20,4%. В стоимостном выражении в 2014 году экспорт увеличился на 5,9%.

Факторами дальнейшего развития рынка теплоизоляции в России являются: продолжающийся рост интереса к энергоэффективным решениям, монополизация рынка теплоизоляционных материалов, развитие государственных программ энергосбережения, проблемы низкокачественных материалов[21].

### **3.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Теплоизоляционными называются строительные материалы изделия, обладающие малой теплопроводностью и предназначенные для теплоизоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов (коэффициент теплопроводности  $\lambda \leq 0,1$  Вт/м·°С [39], плотность  $\rho \leq 500$  кг/м<sup>3</sup>).

Неорганические теплоизоляционные материалы составляют основную часть продукции отрасли. Это объясняется распространенностью сырья, возможностью широкого регулирования свойств, применением практически в любых условиях эксплуатации. Неорганические минеральные материалы занимают 70 % общего объема производства [13].

Теплоизоляцию на органической основе характеризуют доступность сырья, простота переработки и обычно меньшие капитальные вложения в производство. Однако в той или иной степени это горючие материалы. По сравнению с неорганическими материалами есть некоторые ограничения по температуре применения.

Деление теплоизоляции по виду сырья довольно условно.

Многие материалы являются композиционными, сочетающими в себе минеральное или органическое связующее, органические или минеральные наполнители. Это общепринятое деление позволяет сформулировать специфические направления применения теплоизоляции.

В настоящее время по объему потребления основные теплоизоляционные материалы распределились следующим образом: минераловатные утеплители (примерно 65 ... 70 %); пенопласты (20 %); легкие бетоны (газо-, пенобетон, полистиролбетон и др. 3 %); вспученный перлит, вермикулит и изделия на их основе (2 – 3 %); материалы на основе органических наполнителей (древесноволокнистые плиты (ДВП), фибролит, арболит и др. 3 %).

### **3.2.1. Классификация теплоизоляционных материалов.**

Теплоизоляционные материалы и изделия в соответствии с ГОСТ 16381–2022 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация. Общие технические требования» [39] классифицируются по следующим основным признакам: вид основного сырья; содержание связующего вещества; структура; форма; плотность; теплопроводность; жесткость; возгораемость; область применения.

*По виду основного сырья* материалы и изделия подразделяются на неорганические (минеральные) и органические. Изделия, изготовленные из смеси органического и неорганического сырья, относятся к неорганическим, если объем неорганического сырья в смеси превышает 50 % по массе.

Неорганические (минеральные) материалы и изделия (минеральная вата, газобетон и др.) не горючи, температура применения обычно более 400 °С. Однако, технологии изготовления минеральных материалов обычно сложны, требуют значительных площадей и капитальных вложений, использования дорогостоящего оборудования. Плотность исходного сырья высокая (обычно более 2500 кг/м<sup>3</sup>), следовательно, сложно ее снизить до минимальных значений.

Технологии изготовления органических материалов (пенопласты, изделия на основе древесины) значительно проще, меньше требуется капитальных вложений и производственных площадей. Плотность исходного сырья невысокая (не превышает 1000 – 1500 кг/м<sup>3</sup>). Вместе с тем, органические материалы горючи, температура их применения

обычно не превышает 100 °С(некоторых до 200 °С), так как основными компонентами сырья являются углеводороды.

*По содержанию связующего вещества* материалы и изделия подразделяют на:

- содержащие связующее вещество;
- не содержащие связующее вещество.

*По структуре* материалы и изделия подразделяются:

–на волокнистые (минеральная вата, асбестовые изделия, ДВП) с пористостью примерно 80 %;

- ячеистые (пенопласты, ячеистое стекло) с пористостью до 98 %;
- зернистые (керамзит, перлит) при пористости 80 % и менее.

*По форме и внешнему виду:*

- рыхлые(керамзитовый, перлитовый песок и др.);
- плоские(плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, полуцилиндры, сегменты);
- фасонные;
- шнуровые.

*По средней плотности* теплоизоляционные изделия подразделяют на группы и марки, указанные в табл. 3.1(материалы, которые имеют промежуточные значения плотности, не совпадающие с указанными выше, относятся к ближайшей большей марке).

Таблица 3.2

### Группы и марки теплоизоляционных материалов

Обозначение группы	Название группы	Марка по плотности
ОНП	Особо низкой плотности	15; 25;35; 50;75
НП	Низкой плотности	100; 125; 150;175
СП	Средней плотности	200; 225;250; 300;350
ПЛ	Плотные	450;500;600

*По теплопроводности* материалы и изделия делят на классы, указанные в табл. 3.2.

*По жесткости* материалы и изделия подразделяют на виды, указанные в табл. 3.3.

Характеристика жесткости определяется по результатам испытаний материалов на сжимаемость (ГОСТ 17177):

–мягкие материалы (М) при нагрузке  $P = 0,002$  МПа деформируются свыше 30 %; к мягким материалам относятся маты,

полосы и другие гибкие изделия, применяемые для изоляции криволинейных элементов и нагружаемых горизонтальных поверхностей;

–полужесткие (П)  $30 > \varepsilon > 6$  % при  $P = 0,002$  МПа. Это плиты для горизонтального использования без нагрузки;

–жесткие (Ж)  $\varepsilon < 10$  % при  $P = 0,04$  МПа. Предназначены для трехслойных железобетонных панелей, сэндвич-панелей, навесных фасадов;

–плиты повышенной жесткости (ПЖ)  $\varepsilon < 10$  % при  $P = 0,04 - 0,1$  МПа. Применяются при устройстве навесных фасадов, плоской эксплуатируемой кровли.

Таблица 3.2

### Группы и марки теплоизоляционных материалов

Обозначение класса	Наименование классов по теплопроводности	Теплопроводность, Вт/м <sup>2</sup> К, при 298 °К
А	низкой теплопроводности	до 0,06
Б	средней теплопроводности	от 0,06 до 0,115
В	повышенной теплопроводности	от 0,115 до 0,175

Таблица 3.3

### Виды теплоизоляционных материалов по жесткости

Обозначение вида	Наименование видов изделий	Величина относительного сжатия, %, при удельной нагрузке, МПа		
		0,002	0,04	0,1
М	Мягкие	Свыше 30	–	–
П	Полужесткие	От 6 до 30	–	–
Ж	Жесткие	До 6	–	–
ПЖ	Повышенной жесткости	–	До 10	–
Т	Твердые	–	–	До 10

Пожарная опасность строительных материалов в соответствии с СП 112.13330.2011 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» определяется следующими пожарно-техническими характеристиками: *горючестью, воспламеняемостью, распространением пламени по поверхности, дымообразующей способностью и токсичностью* [40].

Строительные материалы подразделяются на негорючие (НГ) и горючие (Г). *Горючие* строительные материалы подразделяются на четыре группы:

- Г1 (слабогорючие);
- Г2 (умеренногорючие);
- Г3 (нормальногорючие);
- Г4 (сильногорючие).

Горючесть и группы строительных материалов по горючести устанавливаются по ГОСТ Р 57270-2016 «Материалы строительные. Методы испытания на горючесть»[41], как показано в табл. 3.4.

Таблица 3.4

#### Группы горючести теплоизоляционных материалов

Группа горючести материалов	Параметры горючести		
	Температура дымовых газов, °С	Степень повреждения по длине, %	Продолжительность самостоятельного горения, с
Г1	≤ 135	≤ 65	0
Г2	≤ 235	≤ 85	≤ 30
Г3	≤ 450	> 85	≤ 300
Г4	> 450	> 85	>300

*Примечание* – Для материалов групп горючести Г1 – Г3 не допускается образование горящих капель расплава при испытаниях.

Для негорючих строительных материалов другие показатели пожарной опасности не определяются и не нормируются.

Горючие строительные материалы *по воспламеняемости* подразделяются на три группы:

- В1 (трудновоспламеняемые);
- В2 (умеренновоспламеняемые);
- В3 (легковоспламеняемые).

Группы строительных материалов по воспламеняемости устанавливаются по ГОСТ 30402-96 «Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость».

Горючие строительные материалы *по распространению пламени по поверхности* подразделяются на четыре группы:

- РП1 (нераспространяющие);
- РП2 (слабораспространяющие);

- РПЗ (умереннораспространяющие);
- РП4 (сильнораспространяющие).

Группы строительных материалов по распространению пламени устанавливают для поверхностных слоев кровли и полов, в том числе ковровых покрытий по ГОСТ Р 51032-97 «Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени».

Горючие строительные материалы *по дымообразующей способности* подразделяются на три группы:

- Д1 (с малой дымообразующей способностью);
- Д2 (с умеренной дымообразующей способностью);
- Д3 (с высокой дымообразующей способностью).

Группы строительных материалов по дымообразующей способности устанавливают по пунктам 2.14.2 и 4.18 ГОСТ 12.1.044-2018 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

Горючие строительные материалы *по токсичности продуктов горения* подразделяются на четыре группы:

- Т1 (малоопасные);
- Т2 (умеренноопасные);
- Т3 (высокоопасные);
- Т4 (чрезвычайно опасные).

Группы строительных материалов по токсичности продуктов горения устанавливают по пунктам 2.16.2 и 4.20 ГОСТ 12.1.044–2018.

Строительные конструкции характеризуются *огнестойкостью и пожарной опасностью*.

Показателем огнестойкости является предел огнестойкости, пожарную опасность конструкции характеризует класс ее пожарной опасности.

Предел огнестойкости строительных конструкций устанавливается по времени (в минутах) наступления одного или последовательно нескольких, нормируемых для данной конструкции, признаков предельных состояний:

- потери несущей способности;
- потери целостности;
- потери теплоизолирующей способности.

Пределы огнестойкости строительных конструкций и их условные обозначения устанавливают по ГОСТ «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования». При этом предел огнестойкости окон устанавливается только по времени наступления потери целостности.

По пожарной опасности строительные конструкции подразделяются на четыре класса:

- К0 (непожароопасные);
- К1 (малопожароопасные);
- К2 (умереннопожароопасные);
- К3 (пожароопасные).

Класс пожарной опасности строительных конструкций устанавливают по ГОСТ «Конструкции строительные. Метод определения пожарной опасности» [39].

### **3.2.2. Основные свойства теплоизоляционных материалов.**

Строительные материалы обладают рядом свойств, знание которых необходимо для теплотехнических расчетов. Точность теплотехнических расчетов в значительной степени зависит от правильного выбора значений теплотехнических показателей строительных материалов. По каким бы точным формулам мы ни делали теплотехнические расчеты, результат не может получиться близким к действительности, если взятые при расчете величины теплотехнических показателей материалов не соответствуют действительным значениям. Эти показатели могут изменяться в зависимости от различных условий, поэтому выбор их представляет большие затруднения.

В первую очередь это относится к тем строительным материалам, теплотехнические свойства которых мало изучены, а порой и совсем неизвестны.

В этом разделе приводятся характеристики основных теплотехнических показателей строительных материалов и факторов, влияющих на величины этих показателей [6, 40].

#### **3.2.2.1. Пористость и плотность.**

подавляющее большинство строительных материалов – пористые тела. Пористость  $\rho$ , %, определяет процентное содержание пор в материале и выражается процентным отношением объема пор к общему объему материала.

Плотность материала  $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>, характеризуется массой в килограммах 1 м<sup>3</sup> материала в том состоянии, в котором он будет применяться в строительстве.

Понятие плотности не надо смешивать с понятием плотности пространственного каркаса. Плотность каркаса выражается массой единицы объема вещества, из которого состоит материал, считая, что в материале совсем нет пор.

Плотность зависит от пористости материала, а для сыпучих материалов – еще и от степени их уплотнения. Например, для обожженного кирпича, состоящего из смеси глины с песком, подверженной обжигу, плотность скелета  $\gamma = 2600 \text{ кг/м}^3$ , плотность же кирпича будет изменяться в пределах от  $\gamma = 1900 \text{ кг/м}^3$  для плотнокирпича до  $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$  для высокопористого кирпича.

Плотность входит в выражение коэффициента температуропроводности, а также в ряд формул и уравнений для теплотехнических расчетов и расчетов влажностного режима ограждающих конструкций. Кроме того, плотность имеет большое значение в строительной теплотехнике как свойство материала, дающее возможность приблизительно оценивать его теплопроводность.

Для строительных материалов плотность  $\gamma$  изменяется в пределах от  $2800 \text{ кг/м}^3$  (для гранита) до  $90 \text{ кг/м}^3$  (для легких волокнистых материалов). У таких материалов, как штапельное стекловолокно, мипора и пенополистирол (стиропор), плотность снижается до  $20 \text{ кг/м}^3$ .

Плотность скелета строительных материалов  $g$  изменяется в пределах: для неорганических материалов – от  $2400$  до  $2800 \text{ кг/м}^3$ , для органических материалов – от  $1450$  до  $1560 \text{ кг/м}^3$ .

Если известны значения плотности скелета материала  $g$  и его плотность  $\gamma$ , то величина пористости  $\rho$  определяется по формуле (3.1):

$$\rho = \frac{g - \gamma}{g} \cdot 100, \%)$$

Для строительных материалов силикатного происхождения пористость изменяется от нуля (для плотных пород, например, гранита) до  $90 \%$  (для легкого пенобетона). У пенополистирола и мипоры пористость достигает  $98 \%$ .

### 3.2.2.2. Влажность.

Влажность характеризуется наличием в материале несвязанной химически воды.

Влажность оказывает большое влияние на теплопроводность и теплоемкость материала, а также имеет большое значение для оценки влажностного режима ограждений.

Влажность можно выражать или в массовом отношении – «влажность по массе», или в объемном – «объемная влажность».

Влажность по массе  $\omega_6$ , %, определяется отношением массы влаги, содержащейся в образце материала, к массе образца в сухом состоянии:

$$\omega_6 = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100, \quad (3.2)$$

где  $P_1$  – масса образца материала до его высушивания, кг;  $P_2$  – масса того же образца после высушивания, кг.

Объемная влажность  $\omega_0$ , %, определяется отношением объема влаги, содержащейся в образце материала, к объему образца:

$$\omega_0 = \frac{V_1}{V_2} \cdot 100, \quad (3.3)$$

где  $V_1$  – объем влаги, содержащейся в образце материала, м<sup>3</sup>;  $V_2$  – объем самого образца, м<sup>3</sup>.

При одном и том же объемном содержании влаги в образце выражение влажности по массе будет различным в зависимости от плотности материала. Для материалов с большей плотностью влажность выразится меньшим процентом, чем для материала с меньшей плотностью. Таким образом, объемная влажность дает более ясное представление о содержании влаги в материале, чем влажность по массе. Более распространено выражение влажности материала в процентах по массе, т.к. определять влажность по массе значительно проще, чем объемную. Особенно трудно определить объемную влажность материала, когда образец его приходится брать из конструкции (шлямбуром или сверлом), т.к. при этом материал извлекается в измельченном виде, и не всегда можно определить объем пробы. Для определения объема необходимо извлекать из конструкции целый кусок материала, что не всегда возможно и, кроме того, повреждает конструкцию. Поэтому в дальнейшем изложении, если нет оговорок, принимается влажность по массе.

Если известны плотность материала  $\gamma$  и его влажность по массе  $\omega_6$ , то для определения объемной влажности  $\omega_0$  можно пользоваться формулой (3.4).

$$\omega_0 = \frac{\omega_6 \cdot \gamma}{1000}, \quad (3.4)$$

где  $\gamma$  – плотность материала в сухом состоянии,  $\text{кг/м}^3$ .

В ограждающих конструкциях строительный материал никогда не бывает в абсолютно сухом состоянии, а имеет некоторую влажность вследствие процессов сорбции конденсации водяного пара, происходящих в ограждении. Влажность, которую будет иметь материал в правильно спроектированном и нормально эксплуатируемом ограждении гражданских зданий в нормальной климатической зоне, называется «нормальной влажностью». Значения нормальных влажностей для некоторых материалов приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

### Влажность материалов в ограждающих конструкциях

Материал	Плотность $\gamma$ , $\text{кг/м}^3$	Влажность материала, %	
		по массе $\omega_m$	по объему $\omega_o$
Кирпич красный в сплошных стенах	1800	1,5	2,7
Кирпич красный в стенах с воздушными прослойками	1800	0,5	0,9
Кирпич силикатный	1900	2,5	4,8
Бетон тяжелый	2000	1,5	3,0
Шлакобетон	1300	3,0	3,9
Керамзитобетон	1000	6,0	6,0
Пенобетон в наружных стенах	700	10,0	7,0
Пеностекло	350	3,0	1,1
Штукатурка известково-песчаная	1600	1,0	1,6
Дерево (сосна)	500	15,0	7,5
Минераловатные плиты	200	2,0	0,4
Пенополистирол	25	5,0	0,12

### 3.2.2.3. Теплопроводность.

Теплопроводность это способность материала в той или иной степени проводить теплоту через свою массу. Степень теплопроводности материала характеризуется величиной его коэффициента теплопроводности  $\lambda$ .

Для выяснения того, что представляет собой коэффициент теплопроводности материала, возьмем однородную плоскую стену (т.е. стену, ограниченную двумя параллельными плоскостями) толщиной  $\delta$ , м, сделанную только одного однородного материала и имеющую площадь  $F$ , м<sup>2</sup>. Если на поверхностях стены температуры составят соответственно  $t_1$  и  $t_2$ , причем  $t_1 > t_2$ , то количество теплоты  $Q$ , Дж, проходящей через стену за время  $z$ , с, при установившемся тепловом потоке (т.е. при условии постоянства температур на наружной и внутренней поверхностях), определяется по формуле (3.5).

$$Q = (t_1 - t_2) \cdot F \cdot z \cdot \frac{\lambda}{\delta} \quad (3.5)$$

где  $Q$  – количество теплоты, кДж;  $F$  – площадь сечения, через которое проходит единица тепла, м<sup>2</sup>;  $z$  – время, ч;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°К);  $\delta$  – толщина ограждения, м;  $t_1, t_2$  – температуры на горячей и холодной сторонах материала соответственно, °С.

Коэффициенты теплопроводности строительных материалов изменяются в пределах от  $\lambda = 0,041$  (мипора, пенополистирол) до  $\lambda = 3,5$  Вт/(м·°С) (гранит). Металлы имеют еще большие величины коэффициента теплопроводности: для стали  $\lambda = 58$ , для алюминия  $\lambda = 221$  Вт/(м·°С).

Величина коэффициента теплопроводности для одного и того же материала не является величиной постоянной, она может изменяться в зависимости от его плотности, влажности, температуры и направления теплового потока.

Теплопроводность является физическим свойством материалов, связанным с переносом в них тепловой энергии за счет взаимодействия атомов, ионов, электронов, молекул.

Перенос тепловой энергии осуществляется непосредственно от частиц, обладающих большей энергией, к частицам с меньшей энергией и приводит к выравниванию температуры тела. Взаимодействие частиц происходит в результате непосредственного их столкновения, при перемещении или колебании.

Величина коэффициента теплопроводности  $\lambda$  зависит от целого ряда факторов:

- состава и внутреннего строения материала;
- пористости;
- плотности;
- влажности и температуры материала.

*Влияния состава и внутреннего строения материала.* Механизм переноса тепловой энергии в веществах, находящихся в различных агрегатных состояниях, неодинаков. В газах и жидкостях осуществляется хаотически движущимися молекулами, образующими однородную среду, в твердых телах – за счет взаимодействия соседних атомов решетки. Однако внутри каждого вида агрегатного состояния имеют место свои особенности переноса энергии, которые, в свою очередь, зависят от структуры и свойств конкретного вещества.

В газах с повышением температуры наблюдается повышение теплопроводности. Это связано с тем, что вязкость газов и удельная теплоемкость увеличиваются с повышением температуры, а между этими параметрами газов и теплопроводностью существует зависимость: чем большее число атомов составляет молекулу газа, тем значительнее увеличение теплопроводности.

В жидкостях межмолекулярное расстояние еще меньше, чем в реальных газах. Плотность жидкости высока, а молекулы, хотя и подвижны, не так хаотичны, как в газах, и перенос тепловой энергии осуществляется практически между слоями жидкости. Химический состав жидкости непосредственно влияет на ее теплопроводность.

Теплопроводность жидкости тем больше, чем выше ее удельная теплоемкость. При повышении температуры расстояние между молекулами в жидкостях увеличивается, плотность их уменьшается, теплопроводность падает. Исключения составляют вода, тяжелая вода и глицерин.

Чем ниже температура кипения жидкости (при нормальном давлении), зависящая от химического состава, тем быстрее уменьшается теплопроводность с ростом температуры. Для различных жидкостей изменение теплопроводности колеблется в пределах 0,1 ... 0,25 % на градус.

В твердых телах перенос тепловой энергии осуществляется с помощью двух основных механизмов: механизма взаимодействия между тепловыми упругими колебаниями решетки; механизма за счет движения электронов и столкновения их с атомами.

В неорганических неметаллических тугоплавких материалах (керамика, природные каменные материалы, бетоны и др.) число свободных электронов, которые могли бы двигаться через кристаллическую решетку и осуществлять перенос энергии, недостаточно, и теплота в основном передается за счет колебаний кристаллической решетки. Величина теплопроводности зависит от характера колебаний решетки. При гармонических колебаниях сопротивление переносу энергии отсутствует, и

теплопроводность может достигать больших значений. Однако в реальных кристаллах колебания имеют агармонический характер, который способствует частичному затуханию упругих тепловых колебаний и значительному снижению теплопроводности. Теплопроводность кристаллических тел можно понизить путем увеличения дефектов в их структуре или рекристаллизацией с уменьшением размера кристаллов и снижением их доли в материале. В теории теплопроводности предполагается, что колебания нормального вида квантуются и по аналогии с фотонами в теории света эти кванты называют *фононами*, а механизм переноса тепловой энергии – *фононной теплопроводностью*.

Тела с некристаллическим строением имеют очень низкую среднюю длину свободного пробега фононов, которая находится в пределах межатомного расстояния. Этим в основном объясняется низкая теплопроводность стекол и других аморфных тел и ее слабая зависимость от температуры.

В металлах перенос тепловой энергии в основном определяется движением и взаимодействием электронов.

Природные и синтетические полимеры ввиду особого строения макромолекул обладают самой низкой теплопроводностью из твердых веществ и соединений, потому что такие легкие элементы, как С, О, Н и другие, образуют ковалентную связь, и можно предположить высокую теплопроводность их молекул. Однако из-за слабости и неоднородности молекулярных связей рассеяние фононов оказывается значительным, а теплопроводность низкой.

В зависимости от агрегатного состояния веществ и особенностей переноса ими тепловой энергии условный ряд тел по величине их теплопроводности (по мере возрастания) может иметь следующий вид: газы < полимеры < жидкости < стекло < кристаллы < металлы.

Теплопроводность является векторной величиной, ее суммарное значение для гетерогенных систем зависит не только от количественного соотношения фаз, но и от их взаимного расположения, характера пограничного слоя, степени непрерывности фаз, что необходимо учитывать при соответствующих расчетах.

Так, у волокнистых и слоистых материалов теплопроводность зависит от направления теплового потока: параллельно или перпендикулярно направлению волокон или слоев. Например, у древесины сосны вдоль волокон  $\lambda = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ }^\circ\text{К})$ ; поперек волокон  $\lambda = 0,18 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ }^\circ\text{К})$  [2].

*Влияние пористости на теплопроводность.* Поскольку теплоизоляционные материалы являются пористыми гетерогенными

телами, их общая теплопроводность определяется суммой теплопроводностей твердой и газовой фаз:  $\lambda = \lambda_{\text{тв}} + \lambda_{\text{газ}}$ .

При передаче теплоты тепловой поток проходит через твердый каркас и воздушные ячейки пористого материала. Теплопроводность воздуха в неподвижном состоянии ( $\lambda \approx 0,023 \text{ Вт/(м}^\circ\text{К)}$ ) меньше, чем теплопроводность твердого вещества, из которого состоит каркас строительного материала: чем выше пористость, тем ниже коэффициент теплопроводности.

Теплота через воздушный слой передается с помощью теплового движения молекул, конвекцией и излучением. Конвективный теплообмен увеличивается по мере роста размеров пор и воздушных прослоек, связывающих эти поры. На лучистый теплообмен решающее влияние оказывает температура эксплуатации: чем она выше, тем выше влияние лучистого теплообмена и тем выше теплопроводность.

С увеличением *плотности* (уменьшением пористости) коэффициент теплопроводности материала возрастает и, наоборот, при уменьшении плотности (увеличении пористости) коэффициент теплопроводности уменьшается. Для иллюстрации этой зависимости в табл. 3.6 приведены коэффициенты теплопроводности глиняного обожженного кирпича в зависимости от его плотности и пористости.

Таблица 3.6

**Влияние плотности  $\gamma$  и пористости  $\rho$  на теплопроводность глиняного обожженного кирпича**

Вид кирпича	Плотность $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Пористость $\rho$ , %	Коэффициент теплопроводности и $\lambda$ , Вт/м <sup>°</sup> С
Сухого прессования	1900	27	0,81
Плотный машинный	1800	31	0,77
Слабопористый	1400	46	0,52
Пористый	1200	54	0,44
Высокопористый	800	69	0,29

Данные табл. 3.6 показывают, насколько лучшими теплотехническими показателями обладают легкие материалы. Если для получения удовлетворительных теплотехнических качеств наружных стен жилых зданий в условиях Москвы толщина стены из обычного кирпича должна быть в 2,5 кирпича, то при применении

пористого кирпича плотностью  $1200 \text{ кг/м}^3$  и легкого шлакового раствора эта толщина снижается до 1,5 кирпича.

*Влажность* материала в значительной степени определяет его коэффициент теплопроводности. С повышением влажности материала резко повышается и его коэффициент теплопроводности. Изменение теплопроводности кладки из обыкновенного глиняного кирпича на тяжелом растворе в зависимости от влажности по массе характеризуется данными, указанными в табл. 3.7.

Таблица 3.7

**Влияние влажности на теплопроводность глиняного кирпича**

Влажность, %	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/м·°С
0,1	0,53
0,7	0,72
2,4	0,81
4,0	1,01
9,0	1,37

Повышение коэффициента теплопроводности материала с увеличением его влажности объясняется тем, что вода, находящаяся в порах материала, имеет коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$ , т.е. в 20 раз больший, чем у воздуха в порах среднего размера. Кроме того, влага в порах материала увеличивает размеры контактных площадок между частицами материала, что также повышает его коэффициент теплопроводности.

Зависимость величины коэффициента теплопроводности от направления теплового потока наблюдается только у анизотропных материалов. Для иллюстрации этой зависимости в табл. 3.8 приводятся коэффициенты теплопроводности древесины в зависимости от направления теплового потока. Данные таблицы показывают, что коэффициент теплопроводности древесины значительно увеличивается при направлении теплового потока параллельно направлению волокон, например, для сосны на 100 %.

Различие в величинах коэффициентов теплопроводности дерева в зависимости от направления теплового потока объясняется тем, что при направлении, перпендикулярном волокнам, тепловому потоку приходится пересекать большое количество воздушных зазоров, находящихся внутри волокон древесины и между ними и оказывающих сопротивление прохождению теплоты. При направлении

теплового потока параллельно волокнам тепловой поток будет идти по стенкам волокон, и в этом случае сопротивление воздуха, заключенного в древесине, будет значительно меньше.

Таблица 3.8

**Изменение теплопроводности древесины в зависимости от направления теплового потока**

Древесина	Плотность $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности древесины $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> С, при направлении теплового потока	
		перпендикулярно волоконам	параллельно волоконам
Дуб	550	0,17	0,35
Сосна	800	0,23	0,41

Направление теплового потока влияет на величину коэффициента теплопроводности также у прессованных материалов или материалов, имеющих волокнистую структуру, и у кристаллов. У изотропных материалов направление теплового потока не влияет на их коэффициент теплопроводности.

### 3.3. Теплоизоляционные конструкции и их основные элементы.

Теплоизоляционная конструкция представляет собой комплекс, отвечающий совокупности требований, определяемых внутренними условиями работы изолируемого объекта и внешними условиями эксплуатации конструкции.

Условия работы тепловой изоляции, а, следовательно, и выбор той или иной теплоизоляционной конструкции во многом зависят от типа изолируемого объекта.

К основным типам изолируемых объектов следует отнести:

–оборудование и трубопроводы технологических установок, энергетических систем [12] и холодильных установок [13 – 15]; теплофикационные сети [16];

–промышленные печи и дымовые трубы [17,18];

–жилые и промышленные здания и сооружения [19 – 22];

–тепловые двигатели и транспортные средства [12,23].

Объектами тепловой изоляции в нефтяной и химической промышленности являются ректификационные колонны, регенераторы, скрубберы, реакторы, калориферы, теплообменники, емкости для хранения нефтепродуктов, конденсатные сборники и др.

В энергетических системах тепловая изоляция выполняется на оборудовании и трубопроводах теплоэлектростанций [24 – 26] и производственно-отопительных котельных местного значения.

Тепловой изоляции подлежат паровые котлы, паровые и газовые турбины [12], подогреватели, испарители, деаэраторы, баки, бойлеры, насосы, дымососы, газоходы, вентиляторы, сепараторы, циклоны и другое оборудование.

В промышленных тепловых агрегатах изолируются [17] доменные, нагревательные, термические, стекловаренные и вращающиеся печи, электропечи, промышленные сушила, тоннельные и нагревательные печи, котлы-утилизаторы, подогреватели, воздухонагреватели, металлические, кирпичные и железобетонные дымовые трубы.

В жилых и промышленных зданиях и сооружениях изолируют фундаменты, стеновые ограждения, чердачные перекрытия, бесчердачные покрытия, системы горячего и холодного водоснабжения.

На транспорте изолируют пассажирские и изотермические вагоны, авторефрижераторы, суда всех типов, подвижной состав городского транспорта, самолеты.

В зависимости от назначения изолируемого объекта различают следующие виды тепловой изоляции: промышленная – изоляция промышленного оборудования и трубопроводов; строительная – изоляция строительных конструкций зданий и сооружений.

В зависимости от температуры изолируемых объектов они подразделяются на объекты с положительной и отрицательной температурой поверхности.

По форме и размерам объектов тепловой изоляции конструкции бывают:

- плоские (стены, перекрытия промышленных и жилых зданий, холодильников; стены, полы, своды теплотехнических установок, поверхности технологических аппаратов);

- поверхности большого радиуса кривизны (вертикальные и горизонтальные технологические аппараты, колонны, емкости диаметром более 1600 мм);

- поверхности оборудования и трубопроводов диаметром 500 – 1600 мм; трубопроводы диаметром до 500 мм;

- поверхности сложной конфигурации (фланцевые соединения трубопроводов и аппаратов, запорная арматура, компенсаторы, отводы, повороты, тройники).

В зависимости от местоположения объектов тепловой изоляции конструкции могут находиться внутри зданий, на открытом воздухе и под землей. Трубопроводы под землей могут быть проложены бесканально, либо в непроходных каналах и тоннелях.



Существует еще целый ряд признаков, характеризующих теплоизоляционные конструкции: высота и длина, вертикальное или горизонтальное расположение и т.д.

Теплоизоляционные конструкции состоят из следующих основных элементов:

–теплоизоляционного слоя;

–покровного слоя, предохраняющего основной слой от атмосферных осадков, механических повреждений и воздействия агрессивных сред;

–пароизоляционного слоя, защищающего изоляцию от атмосферной влаги;

–крепежных деталей, которыми крепят теплоизоляционный и покровный слои между собой и к изолируемой поверхности, а также обеспечивают жесткость конструкции.

В зависимости от назначения конструкции, условий ее работы, материала теплоизоляционного и покровного слоев конструкцию дополняют антикоррозионным или отделочным слоем.

Теплоизоляционный слой, как правило, непосредственно примыкает к изолируемой поверхности и выполняет теплозащитную функцию. В ряде случаев производят антикоррозийную обработку объекта, если выбранный тип изоляции сам не несет функций защиты от коррозии.

*В зависимости от материала теплоизоляционного слоя теплоизоляционные конструкции подразделяются на следующие виды:*

1)рулонные и шнуровые конструкции выполняют из волокнистых изделий в обкладках и без обкладок. К таким конструкциям относятся плиты из минеральной ваты на синтетических связующих, маты минераловатные прошивные, маты и плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем, шнуры, жгуты, холсты, полосы. Рулонные и шнуровые конструкции удобны для изоляции криволинейных участков трубопроводов, фасонных частей, компенсаторов и других сложных по форме элементов.

2)конструкции из штучных изделий (цилиндров, сегментов, скорлуп, плит, блоков и кирпичей), изготовленных из зернистых, волокнистых и ячеистых материалов, применяют для изоляции холодных и горячих трубопроводов, плоских и криволинейных поверхностей. Изделия устанавливают на мастиках или насухо. Такие конструкции требуют тщательной подгонки друг к другу в процессе монтажа.

3)конструкции, выполняемые напылением теплоизоляционных масс, составляют единое целое с изолируемой поверхностью и

отличаются монолитностью, отсутствием швов и тепловых мостиков. Конструкции отличаются простотой производства теплоизоляционных работ. Для изоляции горячих поверхностей используют зернистые (перлит, вермикулит) и волокнистые (асбест, минеральное волокно) материалы. Для изоляции холодных поверхностей используют композиции пенополиуретана.

4)засыпные (набивные) конструкции изготавливают из сыпучих волокнистых или порошкообразных материалов.

5)мастичные конструкции выполняют из мастик, приготовленных из порошкообразных или волокнистых материалов.

б)литые конструкции изготавливают путем заливки жидких компонентов в пространство между изолируемой поверхностью и ограждением (опалубкой), например кожухом покрытия, которые затем вспучиваются.

*По степени монтажной готовности* теплоизоляционные конструкции делят на полносборные заводской готовности, комплектные и сборные:

–конструкция теплоизоляционная полносборная (КТП) представляет собой теплоизоляционное изделие, в котором теплоизоляционный слой скреплен с защитным покрытием клеями или шпилками и оснащен деталями для крепления конструкции на изолируемом объекте;

–конструкция теплоизоляционная комплектная (КТК) представляет собой набор предварительно подготовленных по типоразмерам теплоизоляционных изделий, элементов защитного покрытия и деталей крепления, собираемых поэлементно на месте монтажа;

–сборная (поэлементная) – конструкция, которую собирают в проектном положении на месте монтажа из теплоизоляционных и защитно-покровных материалов с доводкой и фиксацией крепежными деталями по месту.

Конструкции, теплоизоляционный и покровный слои которых выполнены из штучных изделий, а также засыпные, набивные, мастичные и литые относятся к неиндустриальным; индустриальные конструкции – полносборные и комплектные.

*В зависимости от температуры изолируемых поверхностей* конструкции изоляции делятся на группы: для горячих и для холодных поверхностей (с положительными и отрицательными температурами).

*По количеству основных теплоизоляционных слоев* конструкции бывают одно- и многослойными. Многослойная изоляция бывает

однородная или неоднородная, т.е. выполненная из двух теплоизоляционных материалов или изделий и более.

Теплоизоляционные конструкции подвергаются оптимизационным расчетам [11, 16, 24] с целью экономии тепловой энергии, теплоизоляционных материалов и сокращения массогабаритных показателей ограждений.

### **3.4. Основные виды теплоизоляционных материалов.**

Современные теплоизоляционные материалы отличаются качественными характеристиками, как правило, они экологичны и обладают прекрасными эргономичными свойствами. Ознакомившись с основными видами теплоизоляционных материалов и их свойствами, можно выбрать именно тот, который будет отвечать всем требованиям.

Сегодня на рынке строительных материалов представлен огромный ассортимент теплоизоляции. Однако все эти товары нужно уметь правильно применить. Поэтому, прежде чем приступить к процессу проектирования, следует ознакомиться с рекомендациями по выбору утеплителя, а также узнать, как выполнить эти работы правильно.

#### **3.4.1. Теплоизоляционные материалы на органической основе.**

Разделение теплоизоляционных материалов на органические и неорганические весьма условно. Между тем, для удобства изложения вопроса о применении теплоизоляционных материалов такое разделение представляется уместным, поскольку в большинстве случаев именно от того, какова основа теплоизоляционного материала, зависят его свойства, а, следовательно, и область его применения.

**Пенопласты** это разновидность синтетических материалов со вспененной структурой, в основе которых присутствует полимер. Классифицируется пенопласт по типу полимера:

–полистирольный пенопласт состоит из газонаполненных белых спёкшихся шариков. Это недорогой утеплитель с неплохими характеристиками;

–поливинилхлоридный пенопласт тоже часто используется для термоизоляции. Панели могут быть не только жёсткие, но и эластичные;

–карбамидно-формальдегидный пенопласт после высыхания немного увеличивается в объёме, поэтому им хорошо заполнять полости между панелями. Он также пригоден для утепления;

–пенополиуретановый пенопласт бывает двух видов. Первый, эластичный – это поролон, а жёсткий – монтажная пена. Для изоляции ворот больше подойдёт жёсткий, так как он отличается замечательными теплоизолирующими свойствами и превосходной адгезией к любым типам поверхностей. Наносится материал методом распыления, для чего необходимо специальное оборудование.

Характеристики пенопластов различных марок приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

### Характеристики пенопласта различных марок

Марка пенопластовых плит	Плотность $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> С, при температуре 25±5 °С в сухом состоянии, не более	Влажность плит, %, не более	Время самостоятельного горения плит, %, не более	Водопоглощение за 24 часа, % не более	Срок службы, лет, (min - max)
ПСБ – С 15	10-11	0,037	1	3	1	20-50
ПСБ – С 25	15-16	0,035				
ПСБ – С 25 Ф	16-17	0,037				
ПСБ – С 35	25-27	0,033				
ПСБ – С 50	35-37	0,041				

По сравнению с волокнистыми утеплителями пенопласты применяются в значительно меньших объемах. Однако, в последние годы в связи с изменением требований к термическому сопротивлению ограждающих конструкций, объем производства пенопластов значительно возрос и продолжает расти. Это в первую очередь обусловлено значительно меньшими в сравнении с другими утеплителями удельными капитальными затратами на организацию производства. Очевидно, в ближайшие годы эта тенденция сохранится.

Наиболее широко применяемым в отечественном строительстве пенопластом является **пенополистирол**. Объем производства беспрессового пенополистирола составил в 2002 году составил около 1,5 млн. м<sup>3</sup>. Лидерами по производству пенополистирола в стране являются комбинат «Стройпластмасс» (г. Мытищи) и «ТИГИ-Кнауф» (г. Краснорск, Московская область; г. Колпино, Санкт-Петербург).

В г. Реже (Свердловская область) освоено первое в России производство **экструдированного пенополистирола** на отечественном оборудовании, разработанном НПП «Экспол» и ОАО «Полимерстройматериалы». Мощность производства – 54 тыс. м<sup>3</sup> в год на трех линиях.

Этот материал обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным, получаемым из полистирольного бисера прогревом его паром в замкнутом объеме. Прежде всего, это закрытая пористость и минимальное водопоглощение, а так же повышенная прочность. Долговечность экструдированного пенополистирола превышает 50 лет. Такой материал все больше вытесняет блочный пенополистирол в Западной Европе, США и Канаде. Очевидно, и в нашей стране этот материал имеет большое будущее.

В 1988 году в г. Кириши начал выпускать продукцию завод по производству экструзионного пенополистирола ООО «Пеноплекс».

Таблица 3.8

**Сравнительные характеристики  
пенопласта и экструдированного пенополистирола**

Характеристика	Экструдированный пенополистирол	Пенопласт
Водопоглощение, % по объему за 30 суток, не более	0,4	4
Водопоглощение, % по объему за 24 часа, не более	0,2	2
Паропроницаемость, мг/м·ч·Па	0,018	–
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/м <sup>2</sup> ·°С, при температуре 25±5 °С, не более	0,028	0,036 – 0,050
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	0,4 – 1,0	0,07 – 0,20
Прочность при сжатии при 10 % деформации, не менее	0,25 – 0,50	0,05 – 0,2
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , в пределах	28 – 45	15 – 35

**Жесткий заливочный пенополиуретан** производится в России главным образом для изоляции труб тепловых сетей. Крупнейшим заводом, производящим предизолированные пенополиуретаном трубы в полиэтиленовой оболочке, является СП «Мосфлоулайн». Завод оснащен оборудованием, поставленным голландской фирмой «Селмерс» [28, 29]. Кроме заливочных пенополиуретанов заводского изготовления, достаточно широко применяются **напыляемые композиции**. С их помощью производят теплоизоляцию резервуаров

нефтепродуктов и сжиженных газов, утепляют промышленные холодильники и строительные ограждающие конструкции зданий.

В трехслойных стеновых панелях наилучшие результаты по сопротивлению теплопередаче получают, используя пенополистирол ( $2,07 - 3,9 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ), фенольно-резольный пенопласт ( $2,03 - 3,85 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ), плиты из минеральной ваты ( $2,29 - 3,2 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ).

В течение последних лет на рынке России появился новый полимерный утеплитель – карбамидный пенопласт, получивший торговое название **пеноизол**. Разработчиком материала и оборудования для его производства является подмосковный Научно-технический центр «МЕТТЭМ» (г. Балашиха). Пеноизол представляет собой материал, изготовленный беспрессовым способом и без термической обработки из пенообразующего состава, включающего полимерную смолу, пенообразователь, воду и специальные модификаторы. Хорошие теплофизические характеристики материала, возможность приобретения у разработчика комплекта оборудования по его производству, способствовали достаточно быстрому распространению пеноизола в стране. В настоящее время «МЕТТЭМ» много внимания уделяет вопросу долговечности пеноизола, поскольку для этого материала вопрос долговечности является определяющим [30].

С середины 1970-х годов в мире началось развитие производства эластичных теплоизоляционных материалов для инженерных коммуникаций зданий. В настоящее время существует два вида подобной изоляции: вспененный полиэтилен и вспененный синтетический каучук.

Продукция наиболее высокого качества представлена на российском рынке зарубежными производителями: «**Thermaflex**» (вспененный полиэтилен), «**Armstrong**» (вспененный синтетический каучук). Такой теплоизоляционный материал доставляется в виде полых труб, готовых для монтажа, и в виде листового материала, свернутого в рулоны (иногда в нарезанных листах). Основными достоинствами этой продукции являются низкая теплопроводность ( $0,033 - 0,039 \text{ Вт}/\text{м}^\circ\text{C}$  при  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ), высокое сопротивление проникновению пара и стабильность всех теплофизических характеристик в период эксплуатации.

Изоляция типа «Thermaflex» не пропускает влагу и имеет высокую химическую устойчивость. С появлением вспененных материалов открылись новые возможности для систем холодоснабжения и морозильного оборудования – как правило, наиболее энергоемких и сложных в обслуживании.

Повышенный спрос на эффективные утеплители для строительства вызвал всплеск активности разработчиков и производителей теплоизоляционных материалов. Ряд разработок при соответствующем доведении могут найти своего потребителя. К таким материалам на органической основе можно отнести **юнипор** (ВНИИЖелезобетон), **геокар** (ГИ Тверьгражданпроект и Бежецкий механический завод).

Геокар— теплоизоляционный материал, в котором древесные опилки связаны мелкодиспергированным торфом. Этот материал, несмотря на то, что он, безусловно, горюч, обладает рядом достоинств, особенно в сельском строительстве: простота технологии, доступность исходных материалов, экологическая чистота и дешевизна.

При хороших теплотехнических показателях удельные капитальные затраты на строительство мощностей по производству пенопластов меньше, чем для других теплоизоляционных материалов. Меньшей получается и стоимость одного кубического метра пенопластов по сравнению с неорганической теплоизоляцией.

Несмотря на перечисленные достоинства указанных теплоизоляционных материалов, следует так же учитывать их горючесть, долговечность, стабильность теплотехнических и физических свойств во всем периоде эксплуатации, приоритет должен быть отдан неорганическим утеплителям.

### 3.4.2. Теплоизоляционные материалы на неорганической основе.

Наибольшее распространение в строительстве получили **теплоизоляционные бетоны**— как газонаполненные (пенобетон, ячеистый бетон, газобетон), так и на основе легких заполнителей (керамзитобетон, перлитобетон, полистирол бетон и т. п.).

Наиболее активно в настоящее время развиваются газонаполненные бетоны. Производство **ячеистых бетонов** организовано практически во всех регионах России. Этому способствуют простота технологии, доступность сырьевых материалов, относительно невысокая стоимость и хорошие теплоизоляционные свойства. В России действуют более 40 заводов, цехов и установок, более 20 строятся или расширяются.

В последние годы нашло применение строительство малоэтажного жилья из монолитного пенобетона или из крупных элементов, изготавливаемых на месте строительства. В связи с ростом в послед-

ние годы стоимости энергии увеличивается удельный вес безавтоматических ячеистых бетонов – **пенобетонов** [31 – 38].

Примером использования теплоизоляционного пенобетона в мировой практике является опыт немецкой фирмы «Неопор». Эта фирма с 1975 года внедрила свою технологию пенобетона в 40 странах мира. Эта и подобная технологии получили распространение в Германии, Швеции, США, Южной Корее и др.

Неопорбетон – легкий ячеистый бетон, полученный в результате твердения раствора, состоящего из цемента, песка, воды и пены, образованной с использованием протеинового пеноконцентрата «Неопор». Заданная плотность бетона достигается изменением соотношения компонентов. Построены тысячи домов и сооружений, в которых неопорбетон использовали для утепления крыш (средняя плотность бетона 80 – 400 кг/м<sup>3</sup>), для заполнения пустотных пространств (выработанные шахты, канализационные системы и др., плотность 600 – 1000 кг/м<sup>3</sup>), для изготовления стеновых блоков, плит и панелей (плотность 300 – 1400 кг/м<sup>3</sup>).

ВНИИЖелезобетоном построена и введена в эксплуатацию первая очередь завода **полистиролбетонных** конструкций «Юникон – ЗСК» мощностью 350 тыс. м<sup>2</sup> ограждающих конструкций. За последние годы с использованием этих конструкций построены различные типы зданий в Москве и области – от коттеджей и магазинов до многоэтажных жилых домов. Основой этой системы являются блоки полистиролбетона плотностью 150 – 550 кг/м<sup>3</sup> при прочности 0,5 – 2,5 МПа. Разработчики полагают, что широкому внедрению пенополистирольных конструкций препятствует систематическое подорожание стирольного сырья. Для снижения стоимости конструкций они предлагают рецептуры с добавками неорганических наполнителей: шлака, перлита, керамзита и др.

В «Теплопроект» проведены исследования и получены положительные результаты по композиционному материалу – пенополистиролбетону, получившему условное название **дипп-бетон**. Он представляет собой композицию, состоящую из пенобетона, образующего непрерывный каркас, и гранул пенополистирола, заполняющих заданный объем в каркасе. Плотность дипп-бетона может изменяться от 300 до 900 кг/м<sup>3</sup>. Прочность при сжатии при этом изменяется соответственно от 1 до 5 МПа, коэффициент теплопроводности при этом варьируется от 0,065 до 0,15 Вт/(м·°К). В зависимости от содержания гранул пенополистирола дипп-бетон может быть отнесен к негорючим или слабогорючим материалам. Изготовление этого материала не требует большого парка форм,

поскольку распалубку можно производить через 20 – 30 минут после формирования.

Рассматривая вопрос производства и применения теплоизоляционных материалов в строительстве, нельзя не остановиться на проблеме **легких бетонов**.

Сегодня производство однослойных стеновых ограждений базируется большей частью на применении такого легкого заполнителя, как керамзит. Панели получаются тяжелыми, с низкими показателями по теплозащите. Это в большой степени связано с тем, что в качестве мелкого заполнителя используется тяжелый керамзитовый песок, либо просто кварцевый песок.

Между тем, в стране имеется опыт использования в таких бетонах легких перлитовых песков, что позволяет снизить их плотность до 600 – 800 кг/м<sup>3</sup>. Такой опыт имеется в ЦНИЭПЖилища. С керамзитоперлитобетонами и перлитобетонами долгие годы работали Воронежский ДСК (п. Придонской), Улан-Удэнский ДСК-1, завод ЖБИ (г. Нальчик). Город Шелехово Иркутской области более четверти века строит дома из перлитобетона.

Улучшить теплотехнические характеристики строящихся и эксплуатируемых зданий можно, применив **теплые штукатурки**.

В нашей стране незаслуженно мало внимания уделяется этому эффективному материалу. Штукатурка может быть нанесена при выполнении работ как на наружную, так и на внутреннюю поверхность зданий. В состав входят теплоизоляционный наполнитель, связующее и добавки. Помимо перлита в качестве наполнителя могут быть использованы гранулы пенополистирола, пеностекла и т.д.

При толщине слоя 4 – 6 см сопротивление теплопередаче кирпичных стен может быть увеличено в 1,5 – 2 раза. Хорошо сочетаются перлитовые штукатурки с ячеистым бетоном, пенобетоном и другими материалами, особенно в тех случаях, где нужно обеспечить необходимую воздухопроницаемость. Вспученный перлит для теплых штукатурных смесей поставляют ЗАО «Центр Перлит» и его учредители: Апрелевский опытный завод теплоизделий АО «Теплопроект», Хотьковский АО «Теплоизолит» и др. Производство таких смесей может быть организовано на любом заводе сухих смесей. Сегодня такие смеси для внутренних работ выпускает «ТИГИ-Кнауф» в городах Красногорск, Санкт-Петербург, Краснодар, используя для этих целей более 60 тыс. м<sup>3</sup> вспученного перлита в год. Фирма «Кнауф» продолжает расширять выпуск этого материала в других регионах России.

Около 50 лет назад был получен в промышленных условиях первый кубический метр **вспученного перлита**. С тех пор мировой объем выпуска этого материала достиг 20 млн. м<sup>3</sup> в год. За год в мире перерабатывается около 2 млн. т перлитовых пород. Наиболее крупным производителем вспученного перлита и продукции из него являются США, где производится около 7 млн. м<sup>3</sup> в год этого продукта. Анализ структуры потребления вспученного перлита в США показывает, что основная его часть (70 %) используется в строительстве.

В настоящее время перлит в России производят 14 предприятий, выпуская в общей сложности около 600 тыс. м<sup>3</sup> вспученного перлита в год.

В России разработано и внедрено в производство большое количество перлитовых теплоизоляционных материалов и изделий. Среди них такие выпускаемые сегодня промышленностью материалы и изделия, как **перлитцементные плиты и скорлупы** (Хотьковский АО «Теплоизолит», Дмитровский ЗТПИ), **перлитобитумные** плиты (ЖЗБИ-2, г. Железногорск), **перлитофосфогелевые и перлитопластбетонные плиты** (АО «Стройперлит», г. Мытищи) и др.

В нашей стране незаслуженно мало применяется вспученный перлит в штукатурках и кладочных растворах. Не используется вспученный перлит в качестве засыпной изоляции стен, полов, кровли. Между тем известно, что в мире этот неорганический био- и влагостойкий материал широко используется для этих целей.

К началу 1990-х годов «Теплопроектом» были разработаны и прошли все необходимые испытания такие теплоизоляционные материалы на основе перлита, как **лигноперлит, эпсоперлит, термоперлит и перлитодиатомит**.

В настоящее время введена в эксплуатацию линия по производству **термоперлита** на Апрелевском опытном заводе «Теплопроекта».

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 используется гидроксид натрия и его соли.

Лигноперлитовые плиты предназначены для утепления зданий, сооружений и оборудования с температурой изолируемых поверхностей до 200 °С. В качестве связующего применяются лигносульфонаты с небольшим количеством добавок фосфорной кислоты и кремнийорганической жидкости ГКЖ-10, 11. Лигносульфонаты, известные в технике как концентраты сульфидно-

дрожжевой бражки (СДБ), являются доступным источником сырья. Их содержание в материале может составлять от 7 до 20 % по массе. В зависимости от содержания связующего лигноперлит относят к несгораемым и трудносгораемым материалам. К сожалению, производство этого материала так и не вышло за рамки опытного.

Вспученный перлит, нашедший широкое применение как в нашей стране, так и за рубежом, продолжает оставаться перспективным материалом. Отечественный уровень техники, технологии, теоретические знания о процессе позволяют утверждать, что в процессе выхода страны из экономического кризиса вспученный перлит будет востребован во все увеличивающихся объемах и широте свойств.

Ряд заводов страны продолжает выпускать **вспученный вермикулит** и изделия на его основе. Часто, когда вспученный вермикулит используют в тех же условиях и в тех же композициях, что и вспученный перлит, первый не выдерживает конкуренции в силу дороговизны сырья. Мировой опыт, отечественная практика показывают, что наиболее эффективно применение вермикулита в огнезащите и производстве огнеупоров. Уникальные ионообменные характеристики при высокой развитой поверхности более рационально использовать в гидропонике, химической промышленности и атомной энергетике.

Изменение норм теплопотерь через ограждающие конструкции зданий возродило интерес исследователей и производителей к **«теплому» кирпичу**. В связи с этим в стране наблюдается определенный рост производства диатомового кирпича. Пользуется спросом **пенодиатомовый кирпич** Инзенского завода.

«Теплопроект» разработал и в 1999 году ввел в эксплуатацию на Апрелевском опытном заводе линию по производству перлитодиатомитового кирпича, получившего торговое название **термосиликор**. Введение в композицию вспученного перлита позволило в несколько раз сократить время тепловой обработки, а следовательно, и затраты тепла на его производство. Оборудование позволяет на небольших производственных площадях выпускать значительные объемы продукции различных размеров – от стандартного кирпича 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.

### 3.4.3. Минераловатные утеплители.

Утеплители на основе минеральной ваты сегодня продолжают пользоваться неизменным успехом у потребителей.

Говоря о минеральной вате, нужно иметь в виду, что само ее определение не совсем корректно. Согласно ГОСТ 52953-2008 класс минеральных ват включает в себя три разновидности утеплителя: стекловату, шлаковату и каменную вату.

Они разнятся между собой длиной и толщиной волокон, поэтому имеют различные эксплуатационные характеристики, в том числе и плотность. Поэтому у них разные теплопроводность, сопротивления к нагрузкам, гидростойкость и пожаростойкость.

Основой стекловаты являются волокна толщиной от 5 до 15 микрон и длиной от 15 до 50 мм. Благодаря им стекловата становится упругим и достаточно прочным материалом, к тому же она значительно дешевле других разновидностей минеральной ваты.

Шлаковата производится из доменных шлаков, размер волокон – 16 мм, а толщина – от 4 до 12 микрон. Этот утеплитель хотя и не так опасен, как стекловата, однако его волокна тоже достаточно ломкие, поэтому работать с ним без перчаток неудобно.

Шлаковату нельзя использовать в сырых помещениях, поскольку любой шлак имеют определенную остаточную кислотность, которая при контакте с влажным воздухом будет агрессивно действовать на металлические элементы конструкции.

Шлаковата не годится для утепления фасадов, поскольку она очень гигроскопична. По этой же причине не годится она и для теплоизоляции труб водопровода и канализации, вне зависимости от того, пластиковые они или металлические.

У каменной ваты размеры волокон практически не отличаются от размеров волокон шлаковаты. Но, в отличие от последней, они гораздо прочнее, следовательно, почти не ломаются в процессе работы, поэтому работать с ней практически безопасно. Поэтому в строительной литературе под определением «минеральная вата» чаще всего подразумевается именно каменная вата (см. табл. 3.9, 3.10).

Таблица 3.9

**Сравнительные характеристики  
разновидностей минераловатных утеплителей**

Характеристика	Шлаковата	Стекловата	Каменная вата
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/м <sup>2</sup> °С, при температуре 25±5 °С, не более	0,46-0,48	0,038-0,046	0,035-0,042
Температурный диапазон использования, °С	-60...250	-60...450	-180...600
Класс огнестойкости	НГ	НГ	НГ
Коэффициент звукопоглощения	0,75...0,82	0,80...0,92	0,75...0,95
Влагопоглощение (% от массы за 24 часа)	<1,9	<1,7	<0,095

Таблица 3.10

## Сравнительные характеристики минераловатных утеплителей

Продукция	Изолайт-Л	Изолайт	Изолайт Люкс	Изомент-Л	Изомент	Изокор-С	Изокор-К	Изофор	Изоуф	Изоуф-КЛ	Изоуф-Н	Изоуф-В	Изофас-90	Изофас-110	Изофас-140	Изофас	ПН-75	ПН-125	М1-100	М3-100	М1/М3-75	Изошл	П/ИФ
Плотность, кг/м куб.	40	50	60	80	90	105	140	110	150	115	130	175	90	110	140	160	До 75	До 125	85-110	85-110	До 85	100	100
Прочность на сжатие при 10% деформации, КПа				10	20			25	50	30	35	65	15	25	45	55							
Предел прочности на сдвиг слоев, КПа, не мен.				3	4			4	12	7.5	10	15	4	5	15	15							
Сжимаемость, %, не более	30	15	7														9	7	24	22	55		
Теплопроводность в усл. экв.л. А, Вт/мС	0,043	0,038	0,041	0,038	0,039	0,037	0,038	0,040	0,042	0,04	0,04	0,043	0,042	0,042	0,043	0,043	0,04	0,041					
Теплопроводность в усл. экв.л. В, Вт/мС	0,047	0,04	0,044	0,04	0,041	0,037	0,038	0,042	0,044	0,042	0,043	0,046	0,045	0,046	0,047	0,046	0,046	0,046					
Водопоглощение, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	3,5	2,5	1,5	1,5	1,5	5,0	5,0
Влажность по не вст.%, не более	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0
Класс горючести	Не горючие																						

Минераловатные плиты повышенной жесткости ещё более плотные, нежели упругие плиты. Их плотность лежит в диапазоне 120...180 кг/м<sup>3</sup>, а коэффициент теплопроводности находится в пределах 0,037...0,040 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Минераловатные плиты в ламелях выполнены с ориентацией волокон в пространстве и гораздо более прочные на разрыв и растяжение. Из всех изделий они имеют самый высокий коэффициент теплопроводности, достигающий 0,042 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Минераловатные плиты с обкладкой из стеклоткани и фольги имеют соответственно, покрытие из фольги или стеклоткани. Параметры этих плит ничем не отличаются от их аналогов без покрытий.

Минераловатный гранулят – это шарики из минеральной ваты, которыми заполняют посредством специального оборудования труднодоступные места и пустоты. Их плотность может сильно колебаться в пределах от 30 до 140 кг/м<sup>3</sup>. А теплопроводность зависит от плотности укладки и лежит в диапазоне 0,038...0,043 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Шарики имеют пропитку из гидрофобизатора и клеящего вещества.

Минеральные плиты различаются по плотности. В зависимости от этого различны и области применения.

Марка под названием П-75 подходит для чердаков и иногда для теплоизоляции крыши. Часто применяется для газовых и нефтяных проводов.

Марка П-125 часто используется для теплоизоляции межкомнатных перегородок, а также потолков и полов. Часто применяются в газобетонных, керамзитобетонных и кирпичных стенах.

Марка ПЖК-175 используется при железобетонных постройках и для перекрытий из металлического листа.

Марка ППЖ-200 используется там же, где и предыдущая марка, но используется и для повышения огнестойкости зданий.

Часто выпускается и материал, плотность которого менее П-75. Она может прекрасно справиться со своими функциями, если не наблюдаются динамические нагрузки.

Варианты возможных мест, где можно применять минераловатные утеплители, очень много. Это, в первую очередь, фасады и кровли многоквартирных домов, промышленные кровли, утепление стяжек и чердачных помещений, скатов мансард и т.д. и т.п. Однако не существует единого материала на основе минеральной ваты, который был бы пригоден для любых целей. У каждого вида есть своя «специализация». Так, минераловатные плиты применяют при утеплении нежилых чердаков, перегородок внутри помещений, деревянных перекрытий и подвесных потолков. Этот вид минеральной ваты легкий и не нагружает конструкции здания, но, вместе с тем, его теплоизолирующая способность достаточно велика, чтобы почувствовать существенную экономию денежных средств во время отопительного сезона.

Упругие плиты применяют для наружного утепления фасадов домов. Их же применяют для устройства огнезащитных полос при утеплении фасадов пенополистиролом. Упругие плиты допускают облицовку не только тонкослойными декоративными и защитными штукатурками, но и керамической плиткой.

Минеральные плиты повышенной жесткости применяют при устройстве утепления плоских кровель или промышленных кровель с уклоном для последующей изоляции при помощи мягких рулонных материалов. На некоторых из них уже нанесено битумное покрытие для обеспечения наплавления рубероида сразу поверх утеплителя. А некоторые виды таких плит имеют сечение, выполненное под уклон.

Минераловатные плиты с обкладкой из стеклоткани и фольги предназначены для утепления вентилируемых фасадов, дымоходов и мансард. В некоторых случаях допускается применение тонкослойных штукатурок поверх стеклоткани. Но следует иметь в виду, что далеко не все производители фасадных систем утепления производят такие смеси.

Процесс работы над совершенствованием минераловатных материалов продолжается постоянно. Сегодняшние разработки направлены на дальнейшее повышение уровня безопасности при работе с ними и в процессе эксплуатации. Не за горами создание совершенно безопасного утеплителя на основе минеральной ваты с высокими изоляционными качествами и недорогого по цене.

### **3.5. Техничко-экономическая концепция производства и применения теплоизоляционных материалов в строительстве.**

Обоснованная техническая и экономическая концепция развития производства и применения теплоизоляционных материалов способна оказать большое влияние на всю структуру строительного производства. Массовое применение теплоизоляционных материалов в гражданском, сельском и промышленном строительстве резко сокращает потребность в традиционных строительных материалах, сокращает грузопотоки, энергозатраты на строительномонтажные операции, материалоемкость строительства в целом.

Так, 1 м<sup>3</sup> минераловатного утеплителя в конструкции стены равноценен по теплоизолирующим свойствам 3000 шт. глиняного кирпича. На организацию производства равного по теплозащитным свойствам кирпича удельные капвложения в 7 раз больше, чем для утеплителя, а масса готовой продукции больше в 20 раз. В пересчете на условное топливо для производства 1 м<sup>3</sup> минераловатных изделий требуется 50 кг условного топлива, для производства 1 т цемента – 250 кг, 1 м<sup>3</sup> керамзита – 150 кг, для 3000 шт. кирпича – 1000 кг.

Мировой опыт показывает, что наращивание объемов производства и применения теплоизоляционных материалов ведет к значительному сокращению потребления тепла как в сфере производства строительных материалов, так и в строительных работах и сфере эксплуатации объектов гражданского и промышленного строительства.

Организация производства достаточного количества теплоизоляционных материалов для всех видов гражданского и промышленного строительства может в значительной степени снизить объем инвестиций в развитие производства строительных материалов, в строительство и развитие топливно-энергетической базы.

Подсчитано, что энергоэффективное строительство с использованием современных теплоизоляционных материалов, включая затраты на их разработку и строительство заводов, в 3 – 4 раза эффективней, чем традиционное строительство, ведущее к энергоемкому производству строительных материалов, освоению новых месторождений топлива, его добыче, транспортировке, переработке и сжиганию.

Экономический анализ работы отечественных и зарубежных фирм, производящих теплоизоляционные материалы, показывает, что такое производство является прибыльным. Инвестиции на строительство объекта или установки по производству эффективного утеплителя окупаются через 1,5 – 2,5 года.

### **3.5. Особенности монтажа и материалы для выполнения системы «вентилируемый» фасад.**

Декоративная отделка наружных стен здания – один из способов формирования архитектурного стиля, но вместе с тем облицовка должна справляться и с сугубо утилитарными функциями. Выбирая вентиляруемые фасады, как вариант для облицовки, застройщик одновременно решает эти две задачи: создает эстетически привлекательный строительный объект, одновременно надежно защищенный от неблагоприятных природных факторов.

Классифицировать вентиляруемые фасадные системы можно по нескольким критериям, но самый распространенный – по внешней облицовке, а точнее, по материалу, применяемому для отделки, выбор которого влияет также на используемые подсистемы, а также способ проведения монтажных работ.

Отдавая предпочтение одному материалу перед другими, следует руководствоваться не только ценой изделий и стоимостью работ по установке, но также учитывать архитектурные требования как самого строения, так и окружающей среды.

#### **3.5.1. Фасадное остекление.**

Фасадное остекление не только придает привлекательный вид зданию, но и обеспечивает комфортные условия для пребывания в нём. Стекланный фасад должен сохранять тепло, создавать отличный уровень звукоизоляции, защищать от неблагоприятных природных влияний. Прозрачный фасад должен быть прочным и обеспечивать долговечность здания. Его важными свойствами являются гидро- и пароизоляция, вентиляция на стыках элементов конструкции.

В настоящее время фасадное остекление осуществляется по следующим технологиям:

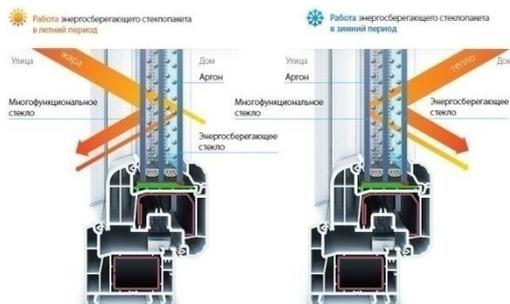
1. Холодный фасад. В этом случае панели из стекла — внешний слой фасада. Теплоизолятор — воздушный зазор между стеной здания и этим слоем.

2. Вытяжной фасад — на расстоянии 15–20 см от стеклопакета устанавливается стекло. В воздушный зазор отводится воздух из помещения и нагревается поступающий с улицы свежий воздух.

3. Структурное остекление. Эта технология предусматривает участие в конструкции фасада стекла, керамики и металла. Все эти материалы создают единую стеклянную поверхность. При этом применяются специальные силиконовые герметики.

Основные виды остекления можно условно разделить на следующие:

1) многокамерные стеклопакеты (схема представлена на рис. 3.8). Чем больше герметичных камер содержит остекление, тем меньше перенос тепла от внутренней поверхности к внешней за счет конвекции;



**Рис. 3.8. Особенности эксплуатации энергоэффективного стеклопакета в зависимости от времени года стеклопакет.**

2) энергосберегающие – стеклопакеты фасадного остекления, открывающиеся створки и стеклянные двери, в которых на одно из стекол нанесен специальный отражающий инфракрасное излучение слой. В результате остекление пропускает 70 – 90 % света в видимой части спектра, при этом до 70 % тепла отражается. Разумеется, речь идет исключительно о потерях на излучение: конвекции энергосберегающий слой не препятствует. Благодаря своим свойствам однокамерный энергосберегающий пакет примерно на 50 % более эффективен в плане теплоизолирующих качеств по сравнению с обычным двухкамерным, при этом он обладает меньшим весом.

3) шумоизолирующие стеклопакеты используются в стальном, поливинилхлоридном или алюминиевом фасадном остеклении домов, выходящих на оживленные магистрали. Принцип работы такого стеклопакета предельно прост: используются стекла разной толщины. К примеру, однокамерный стеклопакет собирается из стекол толщиной 4 и 6 миллиметров. Каждое из них поглощает акустические колебания с разными длинами волн; в результате шум гасится весьма эффективно. Разумеется, чем больше стекол с разной толщиной применяется — тем большая часть звукового спектра поглощается фасадом;

4) тонирование и поляризация. Если полная светопрозрачность фасада в обе стороны нежелательна — используется стеклопакет, включающий тонированное или поляризованное стекло. В первом случае остекление поглощает часть падающего света, пропуская лишь определенную часть спектра. Такие стекла, как правило, выглядят бирюзовыми, синими, коричневыми или серыми. Во втором речь идет о частичной односторонней прозрачности (фасады из поляризованного стекла часто неправильно называют зеркальными). Свет с улицы поляризованное стекло пропускает почти полностью; а в обратном направлении свет не проходит. Наружный зритель видит лишь отражение улицы и других зданий.

Выбор стекла для отделки фасадов определяется потребностями заказчика и сложностью проекта. Технические характеристики каждого вида достаточно высоки, поэтому они могут быть применимы для любых нагрузок.

Панорамное остекление фасада обеспечивает внутри помещения максимальный световой поток. Это наилучшим образом сказывается на дизайне, особенно если этого требует конкретный стиль интерьера (скандинавский, «Нью-Йорк», экостиль и другие).

Современные стеклопакеты в нужной степени обеспечивают тепло- и шумоизоляцию, а также высокий уровень противопожарной безопасности здания.

Удобство обслуживания и ремонтных работ означает, что при необходимости заменить стеклопакеты или базовую металлоконструкцию можно очень быстро, поскольку технически это несложно.

Установка светопрозрачных панелей на фасад конкретного здания означает, что оно становится фактически уникальным по своему внешнему виду. Этому способствует использование любой цветовой гаммы и разновидностей стекла, что успешно применяется, например, при витражном остеклении. Кроме того, используются и различные технологии остекления.

### **3.5.2. Виды монтажа фасадного остекления**

Существует несколько основных технологий фасадного остекления: стоечно-ригельная, полуструктурная и спайдерная и другие.

Стоечно-ригельный тип остекления сегодня чрезвычайно популярен, он используется в большинстве случаев. Стоечно-ригельная система остекления фасадов представляет собой систему

стоек и ригелей, образующих внутренний несущий каркас. Материал каркаса, как правило, алюминий. Стеклопакет или одиночное стекло вставляется снаружи в ячейку фасада и фиксируется там прижимной планкой, которая, в свою очередь, маскируется декоративной накладкой. Со стороны фасад видится как сплошное остекление, разделенное на прямоугольные или квадратные ячейки узкими полосками произвольного цвета. Накладки могут быть плоскими или выпуклыми. Стоечно-ригельные системы фасадного остекления – одни из самых дешевых и распространенных способов устройства.



**Рис. 3.9. Пример выполнения стоечно-ригельного остекления.**



**Рис. 3.10. Полузакрытое стоечно-ригельное остекление**

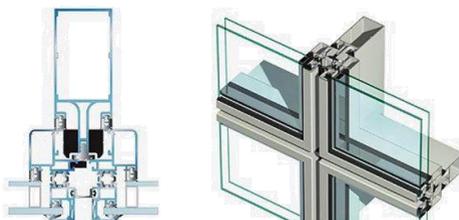
Полузакрытая стоечно-ригельная система – один из частных случаев предыдущего варианта. Вертикальные или горизонтальные прижимные планки подчеркиваются цветом или рельефом, в то время как планки, перпендикулярные им, заменяются уплотнением с помощью герметика. Такой принцип монтажа существенно затрудняет замену поврежденного стеклопакета в фасадном остеклении; однако, визуально фасад воспринимается, как более цельный (рис. 3.10).

Структурное фасадное остекление выполняется без внешних прижимных элементов. На несущей раме стеклопакеты монтируются с минимальными зазорами (не более 30 мм), после чего швы уплотняются герметиком. Цвет герметика, как правило, подбирается под цвет стекол. В результате структурное остекление фасадов создает однородную стеклянную стену без выделяющихся швов. Разумеется, оно выглядит весьма эффектно; однако стоит учитывать несколько тонкостей.

Опорный каркас должен быть стальным. Полностью алюминиевые фасады со структурным остеклением могут применяться

в зданиях низкой этажности, поскольку не обладают достаточной жесткостью. Фасадное структурное остекление требует применения нестандартных стеклопакетов. Наружное стекло по размерам больше внутреннего. Традиционно используется закаленное внешнее стекло. Закалка повышает не только ударную прочность и способность противостоять эрозии песком и прочими абразивными частицами, увеличивает несущую способность остекления. Для уплотнения швов и фиксации стекла применяется особо прочный и стойкий к ультрафиолету силиконовый герметик.

Полуструктурное остекление представляет собой несколько модифицированный предыдущий тип: уплотненные герметиком швы заменены штапиками, которые надежно удерживают стеклопакеты в раме. Здесь применяется стальной опорный каркас, на котором могут крепиться алюминиевые профили для фиксации стеклопакетов. У полуструктурного остекления два достоинства на фоне структурного: здесь возможна установка открывающихся створок; кроме того, стеклопакеты могут монтироваться изнутри (рис. 3.11).



**Рис. 3.11. Полуструктурное остекление** (стекло с обеих сторон зафиксировано штапиком).

Спайдерная система остекления фасадов подразумевает крепление стекла или стеклопакета на специальном нержавеющей коннекторе – спайдере (пауке). Название продиктовано внешним видом остекленного таким образом фасада. Каждый светопрозрачный пакет фасада имеет сквозные отверстия по углам, через которые, собственно, и проходит крепление спайдера. Крепление достаточно эластично, чтобы компенсировать тепловое расширение элементов фасада. Разумеется, и здесь используются закаленные стекла: ветровая нагрузка не распределяется по всему краю стекла или стеклопакета, а сосредоточена на его углах. Спайдерное остекление фасадов позволяет использовать в качестве несущих элементов колонны, ригели, торцы

стен и перекрытий и даже тросовые системы, к которым фасад может быть подвешен без промежуточных опор (рис. 3.12).

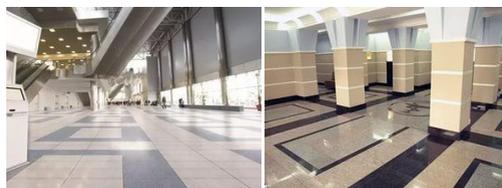


**Рис. 3.12. Варианты выполнения спайдерного остекления.**

### **3.5.3.Керамогранит в системе вентилируемого фасада.**

Керамогранит(керамический гранит, ксрогранит) – современный высокотехнологичный отделочный материал, получаемый путем прессования под высоким давлением глины с её последующим обжигом. Производится методом полусухого прессования из пресс-порошка при давлении 400...500 кг/см<sup>2</sup>, с последующим обжигом при температуре 1200...1300°С. Пресс-порошок, в свою очередь, получают изшликера, который представляет собой тщательно гомогенизированную смесь сырьевых компонентов: беложгущихся глин и каолинов, кварцевого песка, плавней (полевые шпаты и пегматиты), воды.

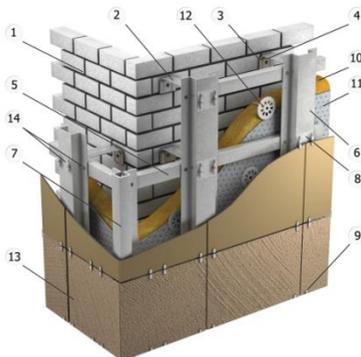
Керамогранит – это относительно новый строительный материал, получивший самое широкое распространение и появление новых видов в последние 15 лет. Изначально керамогранит появился как материал для устройства полов в помещениях с существенными нагрузками, например, в общественных зданиях, и в зданиях производственного назначения) (см. рис. 3.13.).



**Рис. 3.13. Применение керамогранита для устройства полов в производственных и общественных зданиях.**

Несмотря на то, что керамический гранит создавался, как материал для напольных покрытий, но его абсолютная морозостойкость, прочность, стойкость к внешним воздействиям, минимальная истираемость и развитие рынка данного материала, позволили расширить область его применения. Например, в качестве

облицовочного материала при устройстве «вентилируемых» фасадных систем (рис. 3.14).



**Рис. 3.14. Применение керамогранита в качестве облицовочного материала при устройстве «вентилируемых» фасадных систем:**

- 1 – кирпичная стена; 2 – крепеж обрешетки; 3 – прокладка термоизолирующая;  
 4 – анкерный дюбель; 5 – профиль горизонтальный основной; 6 – профиль вертикальный основной;  
 7 – профиль вертикальный промежуточный; 8 – кляммер рядовой; 9 – кляммер стартовый; 10 – утеплитель; 11 – ветрозащитная паропроницаемая мембрана;  
 12 – крепеж теплоизоляции (пластиковый тарельчатый дюбель); 13 – керамогранит;  
 14 – заклепка вытяжная.

За последние 15 лет ассортимент керамогранита значительно расширился. Зачастую базовая смесь окрашивается путём введения в неё окрашивающих окислов, которые хорошо диспергируются при обжиге в полурасплавленной массе.

На сегодняшний день различают несколько видов керамогранита:

1) технический керамогранит напоминает обычный природный гранит. Технологичен, относительно дешёв и сохраняет свой внешний вид десятилетиями даже при интенсивном истирающем воздействии;

2) глазурованный керамогранит — это керамогранит, на который была нанесена глазурь с последующим обжигом для закрепления. Как правило, глазурованный керамогранит прочнее и надёжнее напольной керамической плитки, однако, при длительном и интенсивном использовании теряет свой вид, как и в случае с керамической плиткой, поэтому его обычно используют для помещений и установки в местах, которые не подвергаются интенсивному механическому воздействию;

3) матовый или неполированный керамогранит;

4) полированный керамогранит. Из-за длительности и сложности процесса полировки камня полированный керамогранит обычно дороже матового (но выглядит намного эффектней). В процессе

истирания слой полировки обычно грубеет, и полированный керамогранит превращается в матовый. Кроме того, поскольку полировка «вскрывает» до того закрытые поры, полированный керамогранит окрашивается пигментными красителями, в том числе загрязнениями, что проявляется иногда прямо при затирке швов — остатки затирки остаются в порах, поэтому полированный керамогранит покрывают лаком при изготовлении;

5) структурированный керамогранит или керамогранит с рельефной поверхностью. Некоторые виды такого керамогранита имитируют деревянный паркет (тогда он называется «керамический паркет»). Современные технологии позволяют массовым производителям воспроизводить структуру и вид, например, натурального камня. Также встречается структурированный керамический гранит «под ткань», «под натуральную кожу», а также керамогранит с рельефными рисунками. Способы обработки такого гранита достаточно разнообразны.

6) сатинированный (или «обработанный воском») керамогранит. Перед обжигом на поверхность может наноситься слой минеральных солей. Поверхность получается слегка блестящей, «мягкой», но является натуральной, механически не обработанной и не такой скользкой, как полированная. Такая поверхность является декоративной и не выдерживает значительных нагрузок.

7) лаппатированный («притертый» – в переводе с итальянского), имеющий комбинированную неоднородную фактуру: наполовину матовую, наполовину полированную. Изготавливают способом поверхностной шлифовки, который обеспечивает эффект полуполированной поверхности. Технология лаппатирования получила в настоящее время широкое применение. В процессе обработки материала используют особые камни для шлифовки. Процесс шлифовки занимает немного меньше времени, чем полированного. Обработку выполняют до такого состояния, когда плитка еще не приобрела яркого сплошного блеска. В итоге внешняя сторона полученного керамогранита состоит из различных участков: необработанных, глянцевых и шероховатых.

В отличие от полированного с поверхности материала при обработке срезается меньший слой, что повышает износостойчивость керамогранита.

8) двойная засыпка — технология производства керамогранита, благодаря которой верхний слой плитки (около 3 мм) выполнен из необходимых цветов, а нижний (основной) из того же материала, только неокрашенного. Этот метод целесообразно использовать для

насыщенно ярких, самых редких и дорогих цветов. Например, таких, как красный, оранжевый, синий, зеленый, желтый. При этой технологии сохраняются все технические характеристики керамогранита, при этом существенная экономия идет за счет нижнего слоя. Особенно хотелось бы подчеркнуть, что показатель износостойкости остается тем же, что и на плитке, окрашенной в массиве. Такой материал рекомендован для использования в местах с большой проходимостью и принципиально отличается от глазурованного керамогранита.

Встречаются и другие виды поверхности, например, рустичная (состаренная), полуполированная или противоскользящая.

В настоящее время существует огромное количество размеров керамогранитных плит для различных областей использования (150×150, 200×200, 150×300, 300×450, 300×600, 1200×400, 1200×150, 1200×300, 400×400). Наиболее востребованные размеры керамогранита — 300×300 см, 450×450 и 600×600 мм. Самый большой размер, используемых для облицовки фасадов зданий — 1200×3600 мм (тонкий керамогранит). Самый маленький размер из стандартных — 50×50 мм.

В процессе обжига края керамической плитки или керамогранита немного деформируются, так что даже внутри одной и той же коллекции отдельные плитки будут немного отличаться друг от друга.

Если обратить внимание на технические характеристики любой качественной плитки, в них будут указаны 2 параметра: размер и калибр. Калибр и представляет собой допустимые расхождения в размерах отдельных плиток, обычно составляющие 3-5 мм, поэтому визуально не слишком заметные. Если плитка прошла ректификацию, таких отклонений не будет и размеры совпадут идеально (ректификация — процесс обрезки краев плитки на специальном оборудовании).

Основные физико-механические характеристики керамического гранита и плитки приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

**Сравнительные характеристики разновидностей клинкера, керамической плитки и керамического гранита**

Характеристика	Клинкер	Керамическая плитка		Керамический гранит	
		глазурованная	неглазурованная	глазурованная	неглазурованная
Износостойкость, степень износа, г/см <sup>2</sup>	4 – 5	3 – 4	0,09	3 – 4	0,05

Влагопоглощение, %, не более	2 – 3	4,5	3,5	0,1	0,5
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	23	32 – 35	30	35	35 – 40
Морозостойкость, циклов, не менее	300	200	25	200	150/200
Термостойкость, мин., при 125 °С	–	30	–	30	–

Таким образом, вентилируемые фасадные системы с использованием керамогранита – современная система облицовки, включающая в себя большое число элементов.

Подобные отделочные системы разрабатывались специально, чтобы одновременно решать задачи теплоизоляции зданий, отвода скапливающейся на поверхности стен влаги, а также повышения эстетических качеств любого объекта.

В настоящее время на рынке представлено большое количество разнообразных материалов для отделки наружных стен зданий, каждый из которых имеет собственные уникальные характеристики. Среди наиболее значимых преимуществ вентфасадов из керамогранита можно выделить:

1) привлекательный внешний вид. На рынке представлено большое количество керамогранитных панелей в различном цветовом и стилевом оформлении. Это преимущество особенно важно для общественных, промышленных, офисных зданий и объектов торговли, так как эстетические качества невольно вызывают у посетителей приятные чувства и уверенность в финансовом благосостоянии владельцев здания.

2) хорошая паропроницаемость. Конструкция вентилируемого фасада обеспечивает прекрасную вентиляцию на внешних поверхностях стен, благодаря которой скапливающийся конденсат на элементах здания испаряется, не принося никакого вреда материалам, из которых возведено сооружение. Наличие воздушной прослойки также способствует сохранению температуры на поверхностях стен в приемлемых пределах даже во время серьезных перепадах температуры в зимнее время года. Все эти преимущества предотвращают возникновение грибка и плесени внутри помещения.

3) качественная теплоизоляция. Технология вентфасада позволяет использовать слой утеплителя, размещаемого непосредственно на поверхности внешних стен здания. Слой утеплителя и хорошая изоляция обеспечивают минимальные тепловые потери любого объекта. Это преимущества позволяет снизить затраты на электроэнергию и отопление даже в самых сложных климатических условиях.

4) звукоизоляция. Помимо теплоизоляции, конструкция вентфасада из керамогранита обеспечивает также прекрасные свойства изоляции звука.

5) пожарная безопасность. Керамогранит, а также другие материалы, входящие в состав современного вентилируемого фасада, отличаются низкими показателями горючести, благодаря чему

облицовка не только не будет гореть, но еще и может препятствовать проникновению огня на элементы здания с прилегающих к объекту территорий.

б) выравнивание неровностей стен. Использование вентилируемого фасада, технология устройства которого не требует специальных подготовительных работ, решает вопрос необходимости выравнивания поверхностей внешних стен. Любые проблемы будут надежно скрыты от посторонних глаз.

7) простота монтажа. Установка вентилируемых фасадов может производиться в любых температурных условиях, а потому допускается даже монтаж в холодное время года. Для установки требуется использование только распространенных ручных инструментов, которые должны быть в арсенале любого домашнего мастера.

8) стойкость к внешним воздействиям. Керамогранит стойко переносит постоянное нахождение под солнечными лучами, не выгорает, не портится из-за высокой влажности и не требует какого-то специального ухода.

9) долговечность. Керамогранит отличается чрезвычайно продолжительным сроком службы, что вместе с высокими показателями стойкости компенсирует затраты на закупку необходимых материалов.

#### **4. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА**

Одним из системных подходов является экономия энергоресурсов с помощью рекуперации теплоты.

Система вентиляции с рекуперацией тепла позволяет обеспечить помещение чистым воздухом с комфортной температурой, уменьшая тем самым нагрузку на системы отопления [14].

Рекуперация теплоты — это процесс нагрева холодного приточного воздуха теплым удаляемым воздухом с помощью теплопередачи. Теплый воздух не удаляется через открытое окно, а отдает свою теплоту приточному воздуху в рекуператоре при удалении через систему вентиляции.

Рекуперация осуществляется в теплообменном аппарате за счет теплообмена между вытяжным каналом и притоком. В настоящее время для осуществления теплообмена используют несколько основных типов теплообменников: рекуперативные и регенеративные.

К рекуперативному типу относятся:

– перекрестноточный рекуперативный теплообменник, в котором несмешивающиеся воздушные потоки притока и вытяжки текут по многочисленным каналам с общими для разных потоков стенками. Для пластинчатого типа теплообменника рекуперация теплоты по разным данным может составлять от 40 до 70% в зависимости от соотношения расходов наружного и удаляемого воздуха и разности температур на входах в теплообменник. Переток воздуха при заданной рабочей точке вентилятора составляет от 1 до 3 %;

– противопоточный пластинчатый рекуператор, у которого сравнительно высокий КПД теплообмена воздушных потоков, достигающий при определенных параметрах воздуха в ряде случаев 85%, что делает возможным использование системы жизнеобеспечения без второго подогрева воздуха. Применяется при малых расходах (до 2000 м<sup>3</sup>/ч).

К регенеративному типу относятся:

- роторный регенеративный теплоутилизатор, в котором теплообмен происходит в роторе, при этом происходит частичное смешение приточного и вытягиваемого воздуха. Степень рекуперации теплоты для этого типа аналогична показателям пластинчатого рекуператора. Воздушные теплообменники (вращающиеся теплоутилизаторы) предназначены для утилизации теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха;

- рекуператор с промежуточным теплоносителем, в котором потоки притока и вытяжки разнесены в пространстве на некоторое расстояние, а перенос теплоты между вентиляционными каналами осуществляется путем перекачки жидкого теплоносителя междуиндивидуальными теплообменниками в каналах, когда необходимо гарантированно исключить воздухообмен между вытяжкой и притоком.

Сравнение показателей по рекуперации теплоты при использовании различных типов рекуператоров в системах жизнеобеспечения приводятся в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Сравнение показателей по рекуперации теплоты при использовании различных типов теплообменников в системах жизнеобеспечения [16].

Тип теплообменника	Показатель		
	Пересечение воздухопроводов в одном месте	Возможность перетока воздуха, %	КПД рекуперации, %

Пластинчатый рекуператор	Да	до 1 %	40–70
Противопоточный пластинчатый рекуператор	Да	до 1 %	70–85
Водяной рециркуляционный рекуператор	Нет	Нет	30–50
Роторный рекуператор	Да	Да	70–80

### Библиографический список:

1. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции: Учебник для средних профессионально-технических учебных заведений. – М.: ИНФРА–М, 2003. – 268 с.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.– М.: Минрегион России, 2012. – 188 с.
3. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2 ч. Ч. 2. Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия : учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / О. А. Игнатова. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 288 с.
4. Овчаренко Е.Г., Артемьев В.М., Шойхет Б.М., Жолудов В.С. Тепловая изоляция и энергосбережение // Энергосбережение, 1999. №2. с.37 – 42.
5. Кузнецова В.Ю., Мисюкевич К.М., Хакимова В.А. Концепции энергетически эффективных и экологически чистых зданий и их применение в России и за рубежом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. №12-1. — Режимдоступа:<https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsii-energeticheski-effektivnyh-i-ekologicheskii-chistyh-zdaniy-i-ih-primenenie-v-rossii-i-za-rubezhom>.
6. Анай-Оол А.В., Саая С.С. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. 2020. №4 (70). — Режим доступа:<https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-energoeffektivnosti-zhilyh-zdaniy>.
7. Galperova E., Mazurova O. Analysis of the prospects of adopting the digital technology across sectors of the economy and its impact on the demand for energy carriers / ENERGY-21: Sustainable Development & Smart Management. September 7-11, 2020. Irkutsk, Russia. Conference proceedings. Pp. 507 – 513.
8. Мазурова О.В. Электровооруженность промышленности как фактор качественного скачка в росте производительности труда // Промышленная энергетика. 2017. № 5. С. 2 – 8.
9. Grushevenko D., Grushevenko E., Kulagin V. Energy Consumption of the Russian Road Transportation Sector: Prospects for Inter-Fuel Competition in Terms of Technological Innovation // Foresight and STI Governance. 2018. Vol. 12. No. 4. Pp. 35 – 44.

10. Семикашев В.В. Яковлев А.А. Электромобили в России: быть или не быть? // Нефтегазовая вертикаль. 2021. № 9-10. С. 57 – 68.

11. Filippov S. New Technological Revolution and Energy Requirements // Foresight and STI Governance. 2018. Vol. 12. No. 4. Pp. 20 – 33. DOI: 10.17323/2500-2597.2018.4.20.33.

12. Мазурова О.В., Гальперова Е.В. Энергопотребление в России: современное состояние и прогнозные исследования // Проблемы прогнозирования. 2023. № 1. С. 156 – 166.

13. Гриднева, М. А. Современные материалы, используемые для создания штукатурных фасадных систем / М. А. Гриднева, Е. С. Гладкая // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 160 – 164.

14. Сиразетдинов Р.М., Мавлютова А.Р., Асадуллина Р.Р. Применение инновационных энергоэффективных технологий как эффективный способ снижения эксплуатационных затрат объектов недвижимости (на примере внедрения системы рекуперации воздуха) // Российское предпринимательство. 2016. №21. — Режимдоступа:<https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-innovatsionnyh-energoeffektivnyh-tehnologiy-kak-effektivnyy-sposob-snizheniya-ekspluatatsionnyh-zatrat-obektov>.

15. Немировская В.В., Кузовлев А.В. Энергосбережение с применением утилизаторов теплоты // Холодильная техника и кондиционирование. 2015. №2. — Режимдоступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoberezhenie-s-primeneniem-utilizatorov-teploty>.

16. Тарасенко В.Н. Ячеистые бетоны в малоэтажном жилищном строительстве // Научный поиск в современном мире. Сб. материалов 10-й Международной науч.-практ. конф. 2015. С. 142 – 143.

17. Тарасенко В.Н., Соловьева Л.Н. Проблемы звукоизоляции в жилищном строительстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 48 – 52.

18. Lesovik R.V., Botsman L.N., Tarasenko V.N. ENHANCEMENT OF SOUND INSULATION OF LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON NANOSTRUCTURED GRANULAR AGGREGATE // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, № 10. 2014. С. 1789 – 1793.

19. Шахова Л.Д., Смоликов А.А., Тарасенко В.Н., Балясников В.В., Коновалов В.М. Пенообразователь для изготовления ячеистых бетонов // патент на изобретение RUS 2199508 21.11.2000.

20. Дмитриенко Б.А., Тарасенко В.Н. Неметаллическая композитная арматура // в сборнике: Современные тенденции в образовании и науке сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 10 частях. 2013. С. 51 – 53.

21. ГОСТ 16381-2022. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация. Общие технические требования. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 16 с.

22. СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 26 с.

23. ГОСТ Р 57270-2016. Материалы строительные. Методы испытания на горючесть. – М.: Стандартинформ, 2016. – 51 с.

24. Тарасенко В.Н., Денисова Ю.В. Повышение долговечности штукатурных фасадных систем. //в сборнике: Инновации, технологии, наука Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2015. С. 207 – 209.

25. Денисова Ю.В., Тарасенко В.Н., Лесовик Р.В., Митрохин А.А. Долговечность штукатурных фасадных систем гражданских зданий. //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 7. С. 22 – 26.

26. Денисова Ю.В., Тарасенко В.Н., Лесовик Р.В. Диффузионные мембраны в современном строительстве.// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 8. С. 42 – 46.

27. Тарасенко В.Н. Прогнозирование звукоизолирующих свойств ячеистобетонных композитов.// В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3 частях. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 135 – 140.

28. Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н. Тенденции формирования комфортных условий в современных зданиях. // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3

частях. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 314 – 319.

29. Денисова Ю.В. Полифункциональная добавка для вибропрессованных бетонов. // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3 частях. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 243 – 247.

30. Денисова Ю.В. Особенности проектирования зеленой кровли и возможности ее использования в г. Белгороде. // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3 частях. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 248 – 255.

31. Денисова Ю.В., Тарасенко В.Н. Воздействие окружающей среды на конструкции жилых зданий. // В сборнике: Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах. Пенза, 2010. С. 150 – 151.

32. Денисова Ю.В., Черныш Н.Д., Назарьева Е.В. К вопросу о снижении теплопотерь через оконные и балконные заполнения гражданских зданий. // В сборнике: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов. Ч. 3. Белгород, 2010. С. 97 – 101.

33. Денисова Ю.В. Высолы на кирпичной кладке, причины образования и методы их устранения. // В сборнике: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов. Ч. 2. Белгород, 2010. С. 41 – 44.

34. Тарасенко В.Н., Денисова Ю.В. Эффективная звукоизоляция ограждающих конструкций. // В сборнике: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов. Ч. 3. Белгород, 2010. С. 251 – 254.

35. Денисова Ю.В., Черноситова Е.С. Статистический анализ данных о качестве камней бетонных стеновых. // В сборнике:

Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее. Белгород, 2011. С. 11 – 15.

36. Сулейманова Л.А., Ерохина И.А., Сулейманов А.Г. Ресурсосберегающие материалы в строительстве. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 7. С. 113 – 116.

37. Сулейманова Л.А., Лесовик Р.В., Глаголев Е.С., Сопин Д.М. Высококачественные бетоны на техногенном сырье для ответственных изделий и конструкций. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 4. С. 34-37.

38. Сулейманова Л.А. Алгоритм получения энергоэффективного газобетона с улучшенными показателями качества. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 59 – 61.

39. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3. С. 10 – 20.

40. Сулейманова Л.А., Малокова М.В. Высолы (выцветы) на поверхности бетонных изделий. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 28 – 31.

41. Сулейманова Л.А., Ширина Н.В., Ищенко К.М., Башлыкова К.А. Теплоизоляционные материалы на перлитовом сырье. // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения) Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 238 – 243.

42. Сулейманова Л.А. Неавтоклавный пеногазобетон на основе сухих строительных смесей. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 73 – 80.

43. Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К., Бедина В.И., Миженина О.В. Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 149 – 151.

44. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кара К.А. Энергоэффективный газобетон. // В сборнике: Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова. 2014. С. 218 – 220.

45. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Кондрашев К.Р., Сулейманов К.А., Пириев Ю.С. Энергосберегающие газобетоны на композиционных вяжущих. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 73 – 83.

## Оглавление

Введение .....	3
1. Проблема энергосбережения в России: современное состояние вопроса .....	3
2. История возведения и эксплуатации энергоэффективных систем .....	6
3. Конструктивные решения ограждений, позволяющие выполнить тепловой контур здания максимально удерживающим тепло .....	9
3.1. Современные теплоизоляционные материалы .....	15
3.2. Общие сведения о теплоизоляционных материалах .....	19
3.2.1. Классификация теплоизоляционных материалов .....	20
3.2.2. Основные свойства теплоизоляционных материалов .....	25
3.2.2.1. Пористость и плотность .....	25
3.2.2.2. Влажность .....	26
3.2.2.3. Теплопроводность .....	28
3.3. Теплоизоляционные конструкции и их основные элементы .....	34
3.4. Основные виды теплоизоляционных материалов .....	38
3.4.1. Теплоизоляционные материалы на органической основе .....	38
3.4.2. Теплоизоляционные материалы на неорганической основе .....	42
3.4.3. Минераловатные утеплители .....	46
3.5. Технико-экономическая концепция производства и применения теплоизоляционных материалов в строительстве .....	51
3.5.1. Фасадное остекление .....	52
3.5.2. Виды монтажа фасадного остекления .....	54
3.5.3. Керамогранит в системе вентилируемого фасада .....	57
4. Энергосбережение с применением рекуперации тепла .....	62
Библиографический список .....	64

**Учебное пособие**

В.Н. Тарасенко, Денисова Ю.В.

**БАЗОВЫЕ КОНЦЕПЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

Подписано в печать 26.02.24 Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 4,4. Уч-изд. л. 3,2.

Тираж 50 экз.

Заказ

Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46