

Р.З. Рахимов, Н.С. Шелихов, Т.В. Смирнова

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ИЗ КАМЕННОЙ ВАТЫ



Р.З. Рахимов, Н.С. Шелихов, Т.В. Смирнова

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ИЗ КАМЕННОЙ ВАТЫ

Учебное пособие

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
вузов РФ по образованию в области строительства
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся
по специальности 270106 «Производство строительных
материалов изделий и конструкций» направления 270100
«Строительство»*



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2010

УДК 691.699.86
ББК 38.3
Р27

Рецензенты:

академик РААСН *У.Х. Магдеев*;
заведующий кафедрой технологии отделочных и изоляционных материалов МГСУ, профессор, доктор технических наук *Б.М. Румянцев*;
заместитель генерального директора по науке ГУП «Татинвестграждан-проект», кандидат технических наук *И.С. Абдрахманов*.

Рахимов Р.З., Шелихов Н.С., Смирнова Т.В.

Теплоизоляция из каменной ваты: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 312 с.

ISBN 978–5–93093–768–8

В настоящем учебном пособии приведены общие сведения о теплоизоляционных строительных материалах; истории развития и технологии производства минераловатных теплоизоляционных материалов и изделий на основе каменных расплавов из изверженных горных пород; номенклатуре теплоизоляционных материалов на основе каменной ваты; тепловой изоляции строительных ограждающих конструкций зданий, трубопроводов и промышленного оборудования с применением теплоизоляционных материалов из каменной ваты; физико-технических основах проектирования теплозащиты зданий и сооружений; основах теплотехнических расчетов ограждающих конструкций зданий, трубопроводов и промышленного оборудования.

Для студентов высших учебных заведений строительного профиля, может быть полезно преподавателям, аспирантам, работникам строительных и проектных организаций, служб эксплуатации зданий и сооружений, предприятий по производству теплоизоляционных материалов.

ISBN 978–5–93093–768–8

© ЗАО «Минеральная вата», 2010
© Издательство АСВ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы рационального использования природных ресурсов и энергосбережения приобретают все большее значение в современном мире. Экономия топливно-энергетических ресурсов, внедрение энергоэффективных технологий и материалов, повышение эффективности тепловой защиты зданий, сооружений и промышленных объектов являются приоритетными направлениями в развитии как российской, так и мировой экономики.

В 1992 г. в Рио-де-Жанейро на Всемирном саммите ООН по окружающей среде была принята «Повестка дня на XXI в.», в которой на смену безграничному научно-техническому прогрессу в развитии цивилизации заложена концепция устойчивого развития на основе принципов ресурсосбережения и защиты окружающей среды.

В 1996 г. и в нашей стране указом президента была утверждена концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Одной из важнейших разновидностей ресурсов являются энергетические, что было осознано мировым сообществом в 70-е гг. прошлого столетия в период первого энергетического кризиса. На фоне грядущего исчерпания запасов природных топливных ресурсов и постоянного роста цены на них проблема энергосбережения является особенно актуальной, тем более что с ней связаны в определенной мере проблемы сбережения других ресурсов и охраны окружающей среды.

Одним из важнейших путей экономии топливно-энергетических ресурсов является минимизация тепловых потерь посредством обеспечения необходимой теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, сооружений, теплопроводов и технологического оборудования.

Теплоснабжение потребляет более 40% первичных энергоносителей, идущих на внутренние нужды России. Известно, что каждый примененный 1 м^3 теплоизоляции обеспечивает в среднем экономию 1,45 т условного топлива в год, а эффективность затрат на теплоизоляцию в 4–5 раз выше, чем эффективность капиталовложений на разработку новых месторождений топливно-энергетических ресурсов.

Во многих странах мира в течение последних десятилетий разрабатывались энергетические программы, направленные на экономию энергии, в которых принимались меры по ужесточению норм по теплозащите зданий и сооружений и по наращиванию объемов и

номенклатуры теплоизоляционных материалов. Законы, постановления и программы федерального правительства и субъектов РФ по энергосбережению, предусматривающие аналогичные меры, приняты и в нашей стране. На федеральном уровне создан нормативно-правовой фундамент энергосбережения. В ноябре 2009 г. принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Данный закон предусматривает ужесточение требований к энергоэффективности как новых зданий, так и зданий, прошедших капремонт; введение классов энергоэффективности и энергопаспортов для зданий; обязательную установку приборов учета энергоносителей, а также поддержку и экономическое стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

В последнее десятилетие проектирование, строительство, реконструкция и капитальный ремонт зданий и сооружений в России осуществляются в соответствии с новыми, повышенными требованиями к их энергетическим характеристикам и теплозащите ограждающих конструкций, определяемыми СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Снижение тепловых потерь в ЖКХ и промышленности регламентируется новыми, более жесткими требованиями СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

С введением новых норм по теплозащите зданий в нашей стране значительно возросло производство и потребление теплоизоляционных материалов по объемам и номенклатуре. Только за последние 8 лет потребление теплоизоляционных материалов отраслями строительства и жилищно-коммунального хозяйства возросло с 7 до 28 млн м³. Вместе с тем, чтобы не отстать от других технически развитых стран, уровень потребления теплоизоляционных материалов в нашей стране, по разным оценкам, должен увеличиться до величин от 75 до 150 млн м³.

В наибольших объемах (как в мире в целом, так и в России) для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, трубопроводов и промышленного оборудования применяются обеспечивающие их пожарную безопасность волокнистые теплоизоляционные материалы из минеральных расплавов – каменных, шлаковых и стекольных. Из них, в свою очередь, в наибольших объемах производятся и применяются материалы на основе каменных расплавов, основным сырьем для получения которых являются горные породы габбро-

базальтовой группы. Волокнистые материалы этой категории отличаются и наиболее высокой долговечностью.

И если в доперестроечные времена в нашей стране производились минераловатные материалы на основе шлаковых расплавов, то в последние два десятилетия получило преимущественное развитие их производство на основе каменных расплавов из изверженных горных пород. Очевидно, в этом направлении является целесообразным и дальнейшее развитие производства теплоизоляционных минераловатных материалов и изделий в РФ.

В настоящем учебном пособии представлены следующие сведения: общая характеристика теплоизоляционных материалов; история развития и технологии производства минераловатных теплоизоляционных материалов и изделий на основе каменной ваты; применение материалов на основе каменной ваты в строительной и промышленной теплоизоляции; физико-технические основы проектирования теплозащиты зданий, сооружений, трубопроводов и промышленного оборудования.

В приложениях учебного пособия приведены расчетные тепло-технические показатели строительных материалов, необходимые для проектирования теплозащиты зданий и оборудования, а также заполненная форма энергетического паспорта здания.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

1.1. Классификация теплоизоляционных материалов

Природные или искусственные материалы, используемые для теплоизоляции строительных конструкций, трубопроводов и промышленного оборудования и имеющие теплопроводность не более $0,175 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$, а среднюю плотность не более 500 кг/м^3 , называются теплоизоляционными материалами.

Теплоизоляционные материалы, имеющие теплопроводность менее $0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$, принято называть эффективными теплоизоляционными материалами (в среднем $\gamma = 100\text{--}200 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,05\text{--}0,07 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$).

Теплоизоляционные материалы различают по следующим признакам:

- виду основного исходного сырья;
- структуре;
- форме;
- возгораемости (горючести);
- содержанию связующего вещества.

По виду исходного сырья все теплоизоляционные материалы подразделяют на две большие группы: неорганические и органические.

К неорганическим материалам относят каменную, стеклянную и шлаковату, пеностекло, ячеистые бетоны, вспученные перлит и вермикулит, теплоизоляционную керамику, асбестосодержащие теплоизоляционные массы и изделия.

К органическим материалам относят материалы на основе древесины, различных стеблей растений (льна, камыша и др.), а также газонаполненные пластмассы.

Существует группа материалов, изготавливаемых из смеси органического и неорганического сырья. Это, например, фибролит, получаемый из древесной шерсти и цемента, изделия из минеральной ваты на синтетическом связующем, высокопористые пластмассы, наполненные вспученным перлитом или особо легким керамзитом и другие виды материалов. Смеси из неорганических и органических материалов относятся к неорганическим, если количество последних в смеси превышает 50% по массе.

- По структуре* теплоизоляционные материалы подразделяют на:
- волокнистые (рис. 1.1, а);
 - ячеистые (рис. 1.1, б);
 - зернистые (рис. 1.1, в);

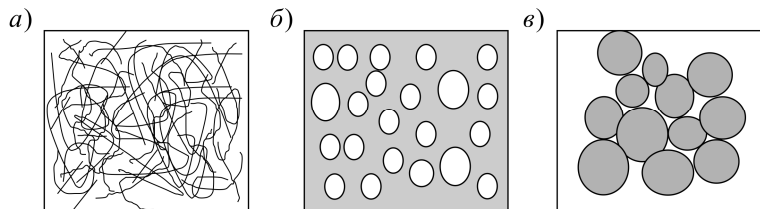


Рис. 1.1. Структура теплоизоляционных материалов:
а – волокнистые; б – ячеистые; в – зернистые

По форме и внешнему виду теплоизоляционные материалы подразделяют на:

- рыхлые (вата, перлит и др.);
- плоские (плиты, маты, войлок и др.);
- фасонные (блоки, кирпич, сегменты, полуцилиндры, цилиндры) (рис. 1.2);
- шнуровые (шнуры, жгуты).

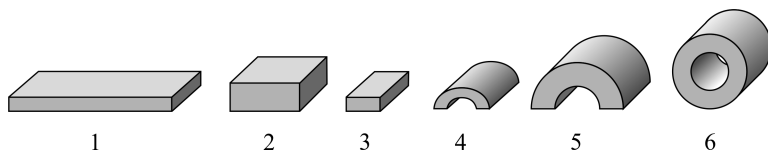


Рис. 1.2. Форма и внешний вид теплоизоляционных материалов:
1 – плита; 2 – блок; 3 – кирпич; 4 – сегмент; 5 – полуцилиндр; 6 – цилиндр

По возгораемости (горючести) материалы и изделия подразделяются на:

- несгораемые;
- трудносгораемые;
- сгораемые.

По содержанию связующего вещества:

- содержащие связующее вещество (плиты из минеральной ваты на связующем);
- не содержащие связующее вещество (минеральная вата).

По средней плотности в сухом состоянии (кг/м^3) теплоизоляционным материалам назначаются марки 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500.

Материалы с промежуточным значением средней плотности относят к ближайшей большей марке.

Теплопроводность материалов и изделий в зависимости от предельной температуры применения указывают в отечественных стандартах или технических условиях на конкретные виды материалов и изделий при температуре $25\text{ }^\circ\text{C}$ – для материалов и изделий, применяемых при температуре до $200\text{ }^\circ\text{C}$; $125\text{ }^\circ\text{C}$ – для материалов и изделий, применяемых при температуре до $500\text{ }^\circ\text{C}$; $300\text{ }^\circ\text{C}$ – для материалов и изделий, применяемых при температуре свыше $500\text{ }^\circ\text{C}$.

В зарубежных нормативных документах теплопроводность определяется при других температурах (например, при $10\text{ }^\circ\text{C}$). Для уточнения теплопроводности зарубежных теплоизоляционных материалов в соответствии с отечественными требованиями необходимо производить ее пересчет.

Также указываются расчетные значения теплопроводности А и Б, которые зависят от условий эксплуатации.

ГОСТ 552953-2008 «Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения» устанавливает следующие виды волокнистых теплоизоляционных материалов из искусственного волокна:

- минеральная вата – теплоизоляционный материал, имеющий структуру ваты и изготовленный из расплава горной породы, шлака или стекла;
- стеклянная вата – минеральная вата, изготовленная из расплава стекла;
- каменная вата – минеральная вата, изготовленная преимущественно из расплава изверженных горных пород;
- шлаковая вата – минеральная вата, изготовленная из расплава доменного шлака.

В настоящее время российский рынок располагает достаточно развитой номенклатурой теплоизоляционных материалов отечественного и зарубежного производства, применяющихся при строительстве зданий, прокладке трубопроводов и изоляции энергетического оборудования, среди них:

- каменная и стеклянная ваты и изделия из них (плиты, маты, фасонные изделия);

- ячеистое стекло и изделия из него;
- вспученный перлит и его модификации;
- вспученный вермикулит;
- легкие бетоны на пористых и органических заполнителях;
- целлюлозная вата;
- пробковая теплоизоляция;
- торфоизоляционные плиты и блоки;
- строительный войлок;
- пенополистирол и изделия из него (плиты и фасонные изделия);
- пенополиэтилен, пенопропилен (листы, рулоны, трубчатая изоляция);
- вспененные каучуки (листы и трубчатая изоляция) и др.

Дифференциация общего объема выпуска теплоизоляционных материалов в России приблизительно соответствует передовым зарубежным странам, где волокнистые утеплители составляют 60–80% от общего объема производства утеплителей.

1.2. Свойства теплоизоляционных материалов

Соответствие любого строительного материала предъявляемым к нему требованиям оценивается по его качеству, которое определяется совокупностью показателей его свойств.

В соответствии с требованиями теплоизоляционные материалы и изделия подразделяются на функциональные и общестроительные, или строительно-эксплуатационные.

Функциональные свойства – это свойства, обеспечивающие способность материала выполнять функции, определяемые его назначением.

Для теплоизоляционных материалов такими свойствами являются теплоизолирующая способность (теплопроводность), теплоемкость, температура применения.

К функциональным свойствам теплоизоляционных материалов и изделий следует отнести и пористость, величина и структурные показатели которой решающим образом влияют на качество этих материалов.

Строительно-эксплуатационные свойства характеризуют материалы с позиции их транспортирования, монтажа и эксплуатации. Важнейшими из них для теплоизоляционных материалов являются прочность, стойкость к действию воды, температуры, огня, химической и биологической агрессии.

1.2.1. Функциональные свойства теплоизоляционных материалов

Теплопроводность

Теплопроводность – важнейшая характеристика теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов, характеризующая способность пропускать через себя тепло. Единица измерения теплопроводности – Вт/(м·°С) или Вт/(м·К).

В старой системе СГС теплопроводность измеряется в ккал/(м·ч·°С). Соотношение между старыми и международными единицами теплопроводности – 1 Вт/(м·°С) = 0,86 ккал/(м·ч·°С) или 1 ккал/(м·ч·°С) = 1,163 Вт/(м·°С).

Теплопроводность материалов характеризуется показателем теплопроводности λ , который определяется следующим выражением:

$$\lambda = q \cdot \delta / \Delta t, \quad (1.1)$$

где q – плотность теплового потока (Вт/м²) через материал толщиной (м) δ при разности температур на противоположных поверхностях (°С) Δt .

Величина, обратная теплопроводности, называется термическим сопротивлением R (м²·°С/Вт) и определяется как

$$R = \delta / \lambda, \quad (1.2)$$

где δ – толщина слоя теплоизоляции, м.

Теплопроводность жидкости или газа определяется уравнением Дебая

$$\lambda = c\omega l, \quad (1.3)$$

где c – теплоемкость среды, Дж/(кг·°С) (см. ниже); ω – скорость распространения волны, м/с; l – длина свободного пробега волны, м.

Теплопроводность различных материалов колеблется в очень широких пределах, например:

- 0,024 Вт/(м·°С) – для воздуха в неподвижном состоянии при 0 °С и 0,075 Вт/(м·°С) при 1000 °С;
- 0,55 Вт/(м·°С) – для воды при 0 °С и 0,7 Вт/(м·°С) при 100 °С;
- 2,5 Вт/(м·°С) – для льда;
- 0,11–0,17 Вт/(м·°С) – для дерева;
- 0,45–0,8 Вт/(м·°С) – для керамического кирпича;
- 45–60 Вт/(м·°С) – для стали и чугуна;
- 418 Вт/(м·°С) – для серебра, т.е. теплопроводность воздуха почти в 18 тыс. раз ниже, чем серебра.

Установлены следующие эмпирические зависимости теплопроводности от параметров состояния материалов, влажности и температуры:

1. Теплопроводность и пористость связаны следующей зависимостью (уравнение Леба)

$$\lambda = \lambda_s(1 - p), \quad (1.4)$$

где λ – теплопроводность материала; λ_s – коэффициент теплопроводности твердой фазы; p – коэффициент пористости в сечении, перпендикулярном потоку тепла.

2. Связь теплопроводности и средней плотности для ряда теплоизоляционных материалов упрощенно выражается линейной зависимостью

$$\lambda = a + b\gamma_0, \quad (1.5)$$

где λ – теплопроводность; a и b – коэффициенты.

Эта зависимость применима для пенобетонов, пенокерамики, бетонов на пористых заполнителях. Однако ряд исследований показал, что для волокнистых (минеральная вата) и полимерных ячеистых (пенополистирол) материалов зависимость теплопроводности от плотности имеет экстремум.

При уменьшении средней плотности меньше определенного значения теплопроводность возрастает.

Причина этого явления – увеличение радиационного теплового потока в общей части теплового потока через материал. С учетом этого явления была предложена следующая зависимость:

$$\lambda = A + B\gamma_0 + C/\gamma_0, \quad (1.6)$$

где λ – теплопроводность материала; γ_0 – средняя плотность; A , B и C – коэффициенты.

Для базальтовой ваты $\lambda_{\min} = 0,033$ Вт/м·°С при $\gamma = 75,3$ кг/м³; для пенополистирола $\lambda_{\min} = 0,029$ Вт/м·°С при $\gamma = 30$ кг/м³.

3. Теплопроводность в зависимости от влажности материала можно приближенно рассчитать по следующей линейной зависимости:

$$\lambda = \lambda_c + \delta W_0, \quad (1.7)$$

где λ – теплопроводность материала; λ_c – теплопроводность сухого материала; W_0 – влажность материала, %; δ – коэффициент, равный для органических материалов $3,5 \cdot 10^{-3}$ (при положительных темпера-

турах) и $4 \cdot 10^{-3}$ (при отрицательных температурах); для неорганических материалов $2 \cdot 10^{-3}$ (при положительных температурах) и $3,5 \cdot 10^{-3}$ (при отрицательных температурах).

4. Теплопроводность материала зависит от температуры.

Рекомендуют определять расчетную теплопроводность по следующей зависимости:

$$\lambda_t = \lambda_0 + \beta T, \quad (1.8)$$

где λ_t – теплопроводность материала; λ_0 – теплопроводность при 0°C , T – температура; β – температурный коэффициент.

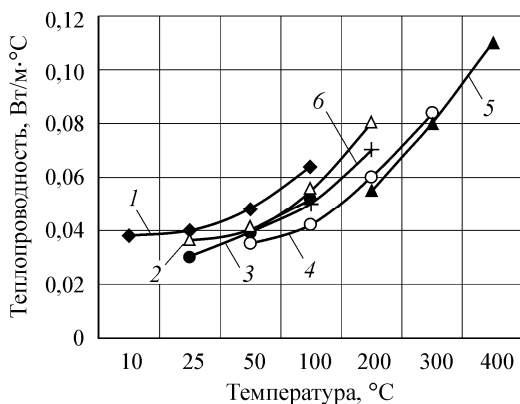


Рис. 1.3. Зависимость теплопроводности от температуры:

1 – вертикально-слоистый мат из базальтовой ваты; 2 – базальтовый мат; 3 – карбамидный пенопласт; 4 – цилиндр из базальтовой ваты; 5 – муилито-кремнеземистая вата; 6 – базальтовый прошивной мат

Для фенольных пенопластов $\beta = 0,00019-0,00023$; для изделий из каменной ваты $\beta = 0,0002-0,0003$; для изделий из стеклянной ваты $\beta = 0,00023-0,00035$; для известково-кремнеземистых изделий $\beta = 0,0001$; для вспученного перлита $\beta = 0,00012$. В действительности зависимости теплопроводности теплоизоляционных материалов от температуры несколько сложнее и обладают явно наблюдаемой кривизной, как показано на рис. 1.3.

Теплоемкость

Теплоемкость – свойство материала поглощать и сохранять теплоту при повышении температуры. Количественной характеристи-

кой этого свойства материалов является удельная теплоемкость (Дж/кг·°С):

$$c = \frac{Q}{m(t - t_1)}, \quad (1.9)$$

где c – удельная теплоемкость; m – масса; Q – количество поглощенного тепла; $(t - t_1)$ – разность температур материала и среды.

Удельная теплоемкость показывает, какое количество теплоты надо сообщить 1 кг данного материала, чтобы повысить его температуру на 1 °С.

Удельная теплоемкость материалов зависит от их природы и в значительно меньшей степени от пористости. Например, удельная теплоемкость воздуха и плотного бетона равна соответственно 1,04 и 0,92 кДж/(кг·°С). Удельная теплоемкость органических материалов значительно выше, чем минеральных.

У жидкости удельная теплоемкость больше, чем у газов и твердых тел.

Теплоемкость меняется с увлажнением материала:

$$c_w = \frac{c_0 + 0,01w}{1 + 0,01w}, \quad (1.10)$$

где c_w – теплоемкость при влажности w ; c_0 – теплоемкость в сухом состоянии; w – влажность материала в %.

Температуропроводность

Температуропроводность – это способность материала к выравниванию температуры в его объеме, если она не одинакова.

Характеризуется скоростью распространения (выравнивания) температуры в материале.

$$\alpha = \lambda / (c \cdot \gamma), \quad (1.11)$$

где α – температуропроводность, м²/с; c – удельная теплоемкость; γ – средняя плотность, кг/м³.

Температуропроводность зависит от вида материала. Например, она у стали – $2,1 \cdot 10^{-5}$; у воздуха – $1,8 \cdot 10^{-5}$; у каменной ваты – $0,055 \cdot 10^{-5}$; у стекла – $0,048 \cdot 10^{-5}$.

Предельная температура применения

Предельная температура применения – это предельная температура ($T_{пр}$), при которой материал выполняет свое функциональное назначение.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|------------|
| Введение | 3 |
| 1. Общие сведения о теплоизоляционных материалах | 6 |
| 1.1. Классификация теплоизоляционных материалов | 6 |
| 1.2. Свойства теплоизоляционных материалов | 9 |
| 1.2.1. Функциональные свойства теплоизоляционных материалов | 10 |
| 1.2.2. Физические и строительно-технические свойства теплоизоляционных материалов | 18 |
| 1.2.3. Взаимосвязь состава, структуры и свойств теплоизоляционных материалов | 23 |
| 2. Каменная вата и материалы на ее основе | 27 |
| 2.1. Возникновение и развитие производства каменной ваты | 27 |
| 2.2. Номенклатура материалов и изделий из каменной ваты | 32 |
| 2.2.1. Неформованные материалы из каменной ваты | 32 |
| 2.2.2. Изделия из каменной ваты | 36 |
| 2.3. Технология производства каменной ваты. Контроль качества | 52 |
| 2.3.1. Физико-химические основы получения силикатных расплавов с заданными свойствами | 52 |
| 2.3.2. Подготовка сырья. Входной контроль качества сырья | 59 |
| 2.3.3. Получение расплавов | 66 |
| 2.3.4. Переработка расплава в волокно | 76 |
| 2.3.5. Волокноосаждение и формирование ковра каменной ваты | 84 |
| 2.3.6. Введение связующего | 87 |
| 2.3.7. Термообработка | 91 |
| 2.3.8. Резка и упаковка изделий из каменной ваты | 93 |
| 2.3.9. Контроль качества продукции | 95 |
| 2.4. Технология производства изделий из каменной ваты | 98 |
| 2.4.1. Плиты из каменной ваты на синтетическом связующем | 98 |
| 2.4.2. Плиты из каменной ваты на битумном связующем | 104 |
| 2.4.3. Прошивные маты | 106 |
| 2.4.4. Вертикально-слоистые маты | 108 |
| 2.4.5. Цилиндры и сегменты | 110 |
| 3. Физико-технические основы проектирования тепловой изоляции зданий и сооружений | 113 |
| 3.1. Виды теплопередачи | 113 |
| 3.2. Физико-климатические воздействия на здания и сооружения | 118 |
| 3.3. Микроклимат помещений | 134 |
| 3.4. Требования к теплоизоляционным материалам и материалам изолируемых конструкций | 140 |
| 3.4.1. Требования к материалам изолируемых конструкций | 140 |
| 3.4.2. Требования к теплоизоляционным материалам | 142 |
| 3.5. Теплотехнические расчеты при проектировании тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий | 144 |

| | |
|---|------------|
| 3.6. Теплотехнические расчеты при проектировании тепловой изоляции трубопроводов и оборудования | 155 |
| 3.7. Энергетическая эффективность здания | 162 |
| 4. Тепловая изоляция конструкций зданий и сооружений материалами из каменной ваты | 168 |
| 4.1. Тепловая изоляция стен | 168 |
| 4.1.1. Стены с внутренней тепловой изоляцией | 168 |
| 4.1.2. Трехслойные каменные стены | 171 |
| 4.1.3. Вентилируемые фасады | 178 |
| 4.1.4. Тепловая изоляция стен со штукатуркой | 189 |
| 4.1.5. Тепловая изоляция каркасных стен | 197 |
| 4.1.6. Тепловая и звукоизоляция перегородок | 207 |
| 4.2. Тепловая изоляция кровель | 219 |
| 4.2.1. Тепловая изоляция скатных кровель и мансард | 221 |
| 4.2.2. Тепловая изоляция плоских кровель | 225 |
| 4.2.3. Тепловая изоляция эксплуатируемых кровель | 232 |
| 4.3. Тепловая и звукоизоляция перекрытий | 234 |
| 4.3.1. Тепловая изоляция чердачных перекрытий | 237 |
| 4.3.2. Звукоизоляция чердачных перекрытий | 240 |
| 4.3.3. Звукоизоляция междуэтажных перекрытий | 241 |
| 4.3.4. Тепловая изоляция перекрытий над подвалом и холодным подпольем | 246 |
| 5. Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования материалами из каменной ваты | 251 |
| 5.1. Требования к материалам и конструкциям тепловой изоляции трубопроводов и оборудования | 253 |
| 5.2. Тепловая изоляция трубопроводов | 255 |
| 5.2.1. Тепловая изоляция трубопроводов цилиндрами из каменной ваты | 255 |
| 5.2.2. Тепловая изоляция трубопроводов матами из каменной ваты | 258 |
| 5.3. Тепловая изоляция оборудования | 261 |
| 5.4. Материалы из каменной ваты для тепловой изоляции трубопроводов и оборудования | 269 |
| Список использованных источников | 270 |
| Приложение 1 | 275 |
| Приложение 2 | 280 |
| Приложение 3 | 298 |

Учебное пособие

Равиль Зуфарович Рахимов
Николай Сергеевич Шелихов
Татьяна Викторовна Смирнова

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ИЗ КАМЕННОЙ ВАТЫ

Редактор: *В. Ш. Мерзлякова*
Компьютерная верстка: *В. Ю. Алексеев*
Компьют. дизайн обложки: *Н. С. Романова*

Диапозитивы предоставлены издательством

Подписано в печать 06.09.2010. Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.
Усл. 19,5 печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации: оф. 511
тел., факс: (499) 183-56-83
http://www.iasv.ru, e-mail: iasv@mgsu.ru