

# ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ



[www.infra-m.ru](http://www.infra-m.ru)

$$\sigma(x) = (\sigma_0 - \sigma^*) \cdot e^{-\alpha x} + \sigma^*$$

ISBN 5-16-001667-8



9 785160 016672

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Ю.Л. БОБРОВ, **Е.Г. ОВЧАРЕНКО**, Б.М. ШОЙХЕТ,  
Е.Ю. ПЕТУХОВА

# ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ

**Учебник**

Допущено Государственным комитетом  
Российской Федерации по строительству  
и жилищно-коммунальному комплексу в качестве  
учебника для студентов средних специальных  
учебных заведений, обучающихся по  
специальностям 2902 Строительство  
и эксплуатация зданий и инженерных  
сооружений и 2508 Производство  
тугоплавких и силикатных материалов

Москва  
ИНФРА-М  
2003

Рецензенты:

*А.А. Федин*, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология строительного производства» Государственной академии профессиональной переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов инвестиционной сферы

*В.В. Ремнев*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Строительные материалы и технологии» Московского государственного университета путей сообщения

Б 72 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.: ил.

ISBN 5-16-001667-8

В учебнике даны сведения о состоянии производства, классификации, строении, свойствах основных теплоизоляционных материалов и конструкций, а также области их рационального применения. Значительное внимание уделено теплофизическим свойствам эффективных теплоизоляционных материалов, методам их контроля, экологической и технологической безопасности, а также исследованию и прогнозированию долговечности в проектируемых условиях эксплуатации. В особый раздел выделено описание теплоизоляционных конструкций, даны принципы их расчета и проектирования.

В главе, касающейся технологии и оборудования теплоизоляционных работ, описаны основные практические приемы и средства ведения этих работ, а также способы контроля качества тепловой изоляции.

Для средних профессиональных учебных заведений строительного профиля.

ББК 38.3я7

ISBN 5-16-001667-8

© Коллектив авторов, 2003

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	6
Введение .....	7
Глава 1. Общие сведения о теплоизоляционных материалах и конструкциях .....	9
1.1. Состояние производства теплоизоляционных материалов и конструкций в России и за рубежом .....	9
1.2. Классификация теплоизоляционных материалов .....	32
1.3. Теплоизоляционная конструкция и ее основные элементы .....	34
Глава 2. Свойства теплоизоляционных материалов и конструкций и методы их контроля .....	38
2.1. Плотность .....	38
2.2. Пористость .....	41
2.3. Теплопроводность и теплоемкость .....	42
2.4. Теплоустойчивость .....	44
2.5. Влажность и водопоглощение .....	45
2.6. Паропроницаемость, водонепроницаемость, водостойчивость .....	46
2.7. Химическая и биологическая стойкость .....	47
2.8. Прочность, сжимаемость, упругость, гибкость и уплотнение .....	48
2.9. Линейная температурная усадка, средний диаметр волокна и содержание органических веществ .....	51
2.10. Огнестойкость .....	52
2.11. Звукопоглощение и звукоизоляция .....	53
2.12. Экологическая и технологическая безопасность теплоизоляционных материалов и конструкций .....	54
Глава 3. Теплоизоляционные материалы и изделия .....	56
3.1. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия .....	56
3.1.1. Минеральная вата и изделия из нее .....	56
3.1.2. Стекловолоконное волокно и изделия из него .....	76

3.1.3. Асбест и изделия из него .....	80	4.3.4. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов с целью предотвращения конденсации влаги на поверхности изоляции .....	190
3.1.4. Диатомит, трепел и изделия из них .....	84	4.3.5. Тепловая изоляция трубопроводов водяных тепловых сетей двухтрубной подземной канальной прокладки .....	192
3.1.5. Известково-кремнеземистые изделия .....	86	4.4. Монтаж конструкций промышленной тепловой изоляции .....	195
3.1.6. Вулканитовые изделия .....	86	4.4.1. Организация строительной площадки .....	195
3.1.7. Вспученный перлит и изделия из него .....	87	4.4.2. Монтаж теплоизоляционных конструкций оборудования и трубопроводов .....	198
3.1.8. Вспученный вермикулит и изделия из него .....	99	4.4.3. Контроль качества теплоизоляционных работ .....	201
3.1.9. Пеностекло .....	101	4.4.4. Техника безопасности и охрана труда при производстве теплоизоляционных работ .....	206
3.1.10. Ячеистые бетоны: пенобетон и газобетон .....	102	4.5. Конструкции тепловой изоляции в строительстве .....	210
3.2. Органические теплоизоляционные материалы и изделия .....	103	4.5.1. Технические требования к эффективным утеплителям для ограждающих конструкций зданий .....	211
3.2.1. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе органического сырья .....	103	4.5.2. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий .....	221
3.2.2. Теплоизоляционные пластмассы .....	108	4.5.3. Строительные конструкции с применением эффективных утеплителей .....	225
Глава 4. Теплоизоляционные конструкции .....	127	Глава 5. Долговечность теплоизоляционных материалов и конструкций .....	240
4.1. Элементы теплопередачи через ограждающие конструкции промышленных и строительных объектов .....	128	5.1. Методика и аппаратура для исследований долговечности теплоизоляционных материалов и конструкций .....	245
4.2. Конструкции промышленной тепловой изоляции .....	133	5.2. Методика и аппаратура для исследования влагостойкости минераловатных материалов .....	248
4.2.1. Технические требования к теплоизоляционным материалам в конструкциях тепловой изоляции промышленного оборудования .....	135	5.3. Прогнозирование эксплуатационных свойств минераловатных теплоизоляционных материалов .....	251
4.2.2. Конструкции тепловой изоляции трубопроводов .....	143	5.4. Пример определения расчетной эксплуатационной стойкости минераловатных теплоизоляционных материалов .....	257
4.2.3. Конструкции тепловой изоляции технологических аппаратов .....	162	Список литературы .....	261
4.2.4. Конструкции тепловой изоляции газоходов и воздухопроводов прямоугольного сечения .....	172		
4.2.5. Конструкции тепловой изоляции резервуаров .....	174		
4.2.6. Конструкции тепловой изоляции дымовых труб .....	177		
4.3. Расчет конструкций промышленной тепловой изоляции .....	184		
4.3.1. Тепловая изоляция с целью обеспечения заданной плотности теплового потока с поверхности изолированного объекта .....	184		
4.3.2. Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования с целью обеспечения заданной температуры на поверхности изоляции .....	186		
4.3.3. Тепловая изоляция трубопроводов с целью предотвращения замерзания содержащейся в них жидкости .....	188		



## ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебном пособии изложены основные сведения о свойствах и технологии традиционных и новых теплоизоляционных материалов и конструкций, которые применяются в современном строительстве.

В данном пособии в отличие от ранее изданных впервые комплексно рассмотрены вопросы производства, контроля качества и применения теплоизоляционных материалов и конструкций не только для целей жилищного и промышленного строительства, но также и в конструкциях тепловой изоляции инженерных сетей и промышленного оборудования. В особые разделы выделены описания не только новых теплоизоляционных конструкций и принципы проектирования, но и основы исследования и прогнозирования их долговечности. Кроме того, по методологическим соображениям в учебном пособии рассмотрены данные, которые, с одной стороны, способствуют расширению у студентов теоретического кругозора в областях, на которых базируются основы технологии производства, проектирования и рационального применения теплоизоляционных материалов и конструкций в современном и перспективном строительстве, а с другой стороны, позволят им получить необходимые практические знания.

Авторы выражают свою признательность профессорам, докторам технических наук А.А. Федину и В.В. Ремневу за ценные замечания, сделанные ими при рецензировании рукописи учебного пособия.

## ВВЕДЕНИЕ

Тепловая изоляция в современном строительстве и промышленности играет важную роль. С ее помощью решают вопросы жизнеобеспечения, организации технологических процессов, экономии энергоресурсов. Теплоизоляционные конструкции являются неотъемлемой частью защитных элементов промышленного оборудования, трубопроводов, частей жилых, общественных и промышленных зданий. Благодаря изоляции значительно повышаются надежность, долговечность и эффективность эксплуатации зданий, сооружений и оборудования.

Тепловая изоляция выполняет следующие функции:

- создает комфортные условия для проживания людей в жилых домах;
- снижает тепловые потери в окружающую среду от объектов (здания, сооружения, оборудование, трубопроводы и др.);
- обеспечивает нормальный технологический процесс в аппаратах;
- поддерживает заданные температуры компонентов в технологических процессах;
- создает нормальные температурные условия для обслуживающего персонала;
- уменьшает температурные напряжения в металлических конструкциях, огнеупорной футеровке и т. д.;
- защищает от огня (противопожарная изоляция) строительные конструкции;
- сохраняет заданные температуры в холодильниках и хладопроводящих системах;
- защищает от испарения сжиженные газы и легкие нефтепродукты при их хранении в изотермических резервуарах.

В промышленности теплоизоляцию оборудования и трубопроводов применяют для того, чтобы обеспечить необходимый технологический режим производственного процесса. В жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданиях утеплители обеспечивают заданные параметры микроклимата внутри помещения. Тепловая изоляция позволяет уменьшить толщину стен зданий, облегчить их массу, уменьшить массу и объем фундаментов, повысить сборность конструкций. Это позволяет при том же объеме строительства сократить затраты, в том числе и энергетические, на производство строительных материалов, на их перевозку и подъем, на возведение зданий.

Если изоляцию выполняют для предотвращения тепловых потерь от изолируемой поверхности в окружающую среду, она называется *тепловой*.

Изоляция, которую устанавливают для предотвращения движения теплоты из окружающей среды к более холодной изолируемой поверхности, называется *холодильной*.

В связи с широким развитием в промышленности технологических процессов, протекающих в условиях высоких температур и давлений, а также глубокого холода, роль и значение тепловой изоляции непрерывно возрастают.

Теплоизоляционные работы являются завершающими в процессе возведения объектов, и поэтому от быстрого и качественного их выполнения зависят не только сроки сдачи этих объектов в эксплуатацию, но и качество выпускаемой продукции, экономические и технические характеристики объектов, комфортность на рабочих местах, качество условий проживания в возводимых и эксплуатируемых зданиях.

Как за рубежом, так и в нашей стране развитие производства теплоизоляционных работ идет по пути индустриализации с применением современных теплоизоляционных материалов и конструкций, высокомеханизированных инструментов и приспособлений, а также сборных средств подмащивания (лесов, подмостей). В практике теплоизоляционных работ все чаще используются конструкции полной заводской готовности, поставляемые с предприятий в виде готовых комплексных элементов, состоящих из теплоизоляционного и покровного слоев, оснащенных комплектом крепежных деталей. Производство теплоизоляционных работ при этом сводится к установке готовых элементов на изолируемую поверхность.

Индустриализация изоляционных работ, превращение их в поточный процесс сборки с высоким уровнем механизации — важная задача капитального строительства. Решение этой задачи во многом зависит от степени подготовки и квалификации специалистов и рабочих кадров. Рабочий-изолировщик должен уметь выполнять специализированные работы в нормативные сроки и с высоким качеством, рационально использовать материалы, детали и конструкции, оборудование и инструменты, добиваться снижения затрат на производство работ.

Специалисты должны знать основные виды теплоизоляционных материалов, изделий и конструкций; машины, механизмы, инструменты и оборудование, применяемые при теплоизоляционных работах; основы организации и экономики труда; уметь вести монтаж теплоизоляционных конструкций.

Изложению этих и других вопросов, связанных с производством и рациональным применением традиционных и новых теплоизоляционных материалов и конструкций в современном строительстве и промышленности, и посвящено настоящее учебное пособие.

## Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ И КОНСТРУКЦИЯХ

### 1.1 Состояние производства теплоизоляционных материалов и конструкций в России и за рубежом

Являясь одной из ведущих держав мира по производству энергии, Россия значительно уступает экономически развитым странам в вопросах рационального использования энергоресурсов. Так, сегодня на выпуск товарной продукции в Западной Европе в среднем расходуется 0,5 кг условного топлива на 1 долл. продукции, в США — 0,8, в России — 1,4 кг.

Эффективность использования топливно-энергетических ресурсов в России остается крайне низкой. Если в 1971 году страны Восточной Европы (СССР и его союзники) и Западной Европы (все остальные страны Европы плюс Турция) характеризовались одинаковым количеством энергии, потребляемой на душу населения, то к 90-м годам этот показатель в странах Восточной Европы был уже на 37 % выше. Сложившийся не в пользу России баланс энергопотребления еще более усугубился в 90-е годы. Энергоемкость продукции в связи с переживаемым в стране экономическим кризисом выросла более чем на 40 %.

Велико отставание России по энергосбережению и в коммунальном хозяйстве, где расходуется до 20 % всех энергоресурсов страны, т.е. на единицу жилой площади расходуется в 2—3 раза больше энергии, чем в странах Европы. Так, жилые многоэтажные здания потребляют в России от 350 до 550 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), индивидуальные дома коттеджного типа — от 600 до 800 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). Вместе с тем за рубежом, например в Германии, дома усадебного типа потребляют в среднем по стране около 250 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), в Швеции — 135 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). Лучшие же зарубежные образцы жилых зданий потребляют от 90 до 120 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год).

Анализ опыта различных стран в решении проблемы энергосбережения [50, 51, 53] 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 может составить 25—30 млн м<sup>3</sup> и должна быть удовлетворена в основном за счет отечественных материалов.

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 только около 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 вре-

мя 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 [49, 55].

Объем продаж на российском рынке только фирмы «Роквул» (Дания) достиг в 1990-х годах около 10 млн долларов США в год. А поставки фирмы «Партек» (Финляндия) распространились в этот период до Иркутска.

Часто считают, что импортные утеплители при той же плотности, что и российские, обладают более низким коэффициентом теплопроводности. Об этом говорит простое сравнение показателей теплопроводности утеплителей по нашим ГОСТ и ТУ и показателей данных фирм-импортеров. Между тем разницу в большинстве случаев можно объяснить отличиями в методике определения теплопроводности. Так, например, в России замер производят при 25 °С, а за рубежом — при 10 °С. Такая разница в граничных условиях может дать отличие в результатах до 15 % не в пользу отечественных утеплителей.

Предусмотренное федеральными целевыми программами «Жилище» и «Свой дом» массовое жилищное строительство не может ориентироваться на зарубежные поставки. Потребность этого сектора в эффективных утеплителях ежегодно возрастает и должна быть удовлетворена в основном за счет отечественных производителей.

Расчетами Госстроя РФ, выполненными в рамках федеральных целевых программ «Жилище» и «Свой дом», определена потребность в эффективных теплоизоляционных материалах для строительства. Так, при объеме нового строительства 80 млн м<sup>2</sup> жилой площади в год и объеме реконструкции 20 млн м<sup>2</sup> понадобится около 18 млн м<sup>3</sup> утеплителя.

Следует заметить, что потребность в утеплителях резко возросла после ужесточения нормируемых теплотерь через ограждающие конструкции зданий, принятых Госстроем РФ в 1995—1996 годах. Вследствие принятых решений требуемая толщина теплоизоляционного слоя должна увеличиться в 1,5—2 раза на первом этапе и в 3 и более раза — на втором. Общая потребность в утеплителях для всех отраслей хозяйства страны по расчетам Теплопроекта составит к 2010 году до 50—55 млн м<sup>3</sup>.

## Волокнистые теплоизоляционные материалы

Основой промышленности теплоизоляционных материалов является производство теплоизоляционных изделий из минеральной ваты. На территории России расположено 69 предприятий и цехов по производству таких изделий. Общее количество технологических линий — 122. Суммарная установленная (проектная) мощность предприятий — около 12 млн м<sup>3</sup> в пересчете на изделия плотностью 100 кг/м<sup>3</sup> [52].

Некоторые предприятия, к сожалению, до сих пор выпускают материалы, которые нельзя отнести к современным. Это прежде всего минераловатные плиты на битумном связующем. К уходящим в прошлое минераловатым утеплителям следует также отнести изделия, диаметр волокна в которых превышает 7—8 мкм, а в качестве связующего используются экологически вредные вещества. Очевидно, что даже в условиях ожидаемого повышенного спроса эти материалы не будут востребованы, а мощности этих производств не будут расти.

Среди наиболее широко применяемых сегодня как в промышленных строительных конструкциях, так и в дополнительной изоляции зданий распространены такие волокнистые утеплители, как: плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573—96 и ТУ 762-010-04001485—96) марок П75, П125, П225; изделия из стеклянного волокна (ТУ 5763-002-00287697—97) марок П45, П45Т, П60, П75. Для утепления кровли, чердачных перекрытий наряду с указанными изделиями применяются также минераловатные плиты повышенной жесткости на синтетическом связующем (ГОСТ 22950—95), плиты минераловатные гофрированной структуры (ТУ 5762-001-05299710—94) марок П175ГС, П200ГС [79].

Такую продукцию выпускают сегодня многие отечественные заводы: АО «Термостепс» (Тверь, Ярославль, Салават, Омск, Пермь), АО «Комат», ЗАО «Минвата» (г. Железнодорожный), Назаровский ЗТИМ, фирма «Изорок» (г. Бокино), Челябинский АКЦИ, «Флайдерер-Чудово» и др. К сожалению, следует констатировать, что номенклатура отечественных плитных утеплителей расширяется медленно и все еще скудна. Рынок России испытывает недостаток в плитных утеплителях повышенной жесткости для утепления фасадов зданий. Имеющиеся изделия не обладают необходимыми свойствами по влагостойкости, сопротивлению на расслаивание. Практически отсутствуют жесткие негорючие плиты малой толщины для изоляции кровель и полов.

При кажущемся обилии волокнистой теплоизоляции объем выпуска конкурентоспособной продукции, наиболее полно отвеча-

ющей требованиям современного строительства, недостаточен. В основном такая продукция выпускается предприятиями, оснащенными импортным оборудованием. Выправляя это несоответствие в структуре производства утеплителей, целый ряд отечественных предприятий, таких, например, как АО «Флайдерер-Чудово», АО «Термостепс», АКЦИ, ЗАО «Минвата» и др., в последние годы значительно улучшили качество и номенклатуру своей продукции.

Наиболее общим для всех заводов страны путем вывода производства волокнистых утеплителей на новый качественный уровень является перевод процесса получения волокна с доменных шлаков на **минеральное сырье**.

Анализ применяемых в отечественной и зарубежной практике сырьевых материалов показывает, что наиболее качественную, долговечную минеральную вату, соответствующую мировому уровню, можно получать из шихт на основе горных пород габбро-базальтового типа. Небольшая добавка карбонатных пород (известняков или доломитов) доводит их модуль кислотности до 1,7—2,5.

Использование этого сырья дает возможность получать минеральное волокно и изделия на его основе, обладающие повышенными эксплуатационными свойствами (химически и водостойкие, температуростойкие), с высокими физико-механическими и тепло-техническими показателями. К числу наиболее перспективных сырьевых материалов следует отнести: базальт месторождения «Мяндуха» (Архангельская обл.), кондопожские габбро-диабазы и порфириды (Карелия), горные породы Урала, габбро-диабаз Круторожинского месторождения (Оренбургская обл.), васильевские (Кемеровская обл.), назаровские (Красноярский край), свиягинские (Приморский край) базальты, габбро-диабаз татаканский, базальтовый туф морозовский (Приморский край), ортоамфиболит тарынахский (район БАМа), меланократовый габбро-норит (Приморский край). Большая часть этих пород пригодна для применения в качестве однокомпонентной шихты. Путем специальной термообработки можно получать кристаллизующееся минеральное волокно с рабочей температурой применения до 1000 °С [64].

Переход на производство минеральной ваты из горных пород габбро-базальтовой группы, как это делают все ведущие фирмы мира, а не из доменных шлаков позволит существенно увеличить срок эксплуатации утеплителей из минеральной ваты, повысить их температуро- и водостойкость [63, 64].

С этой целью Теплопроект разработал «Кадастр сырья для производства минераловатных изделий на основе горных пород». С помощью этого документа отрабатываются такие составы шихт на основе отечественного сырья, которые по своим характери-

кам соответствуют шихтовым составам ведущих европейских фирм: «Партек» (Финляндия), «Роквул» (Дания), «Сен-Гобен» (Франция).

Такие шихты используют на Тверском комбинате «Изоплит», Пермском заводе теплоизоляционных изделий, Самарском ЗТИ. С середины 1999 года Волгоградский ЗТИ приступил к массовому производству тонкого волокна и изделий на основе базальта при использовании ваграночного процесса.

Ведущие мировые фирмы — производители минераловатной продукции в качестве основного сырья используют базальтовые породы. Это позволяет получать высококачественную минеральную вату.

В настоящее время на всех предприятиях отрасли доля базальтовых пород в используемой шихте увеличена до 25—30 %. Это означает, что модуль кислотности ваты составляет в этих случаях не менее 1,5.

Важным элементом в технологических линиях производства волокнистых материалов и изделий, оказывающих воздействие на конечные свойства утеплителей, являются **плавильные агрегаты**.

Из 122 технологических линий по производству минераловатных изделий 103 оснащены коксовыми вагранками, 17 линий — ванными печами, 2 линии — электропечами. В производстве стекловолкна и изделий используют ванные печи на газе или жидком топливе, а в производстве тонкого базальтового и супертонкого волокна — электропечи с графитовыми или молибденовыми электродами или индукционные печи.

Производительность коксовых вагранок — 2—2,5 т/ч по расплаву, ванн печей минераловатного производства — 1,6—2,5 т/ч, электропечей — до 5 т/ч, ванн печей производства стекловолкна — 0,8—1,5 т/ч, печей базальтового производства — от 200 кг в сутки до 200 кг/ч.

60 % всех теплоизоляционных материалов из минеральных волокон выпускают при получении расплава в коксовых вагранках, которые являются сегодня основными плавильными агрегатами.

На большинстве отечественных предприятий эксплуатируется устаревшее плавильное оборудование. Практически все коксовые вагранки работают без горячего и кислородного дутья, что, в свою очередь, не дает возможности получить расплав требуемой (1400—1450 °С) температуры, а следовательно, и нужной вязкости.

АО «Термостепс» совместно с НТТП «Газовые печи» (г. Пенза) разработали и внедрили на Волгоградском заводе теплоизоляционных изделий (филиале АО «Термостепс») принципиально новый, не имеющий мирового аналога плавильный агрегат — **коксогазовую вагранку** для плавления всех видов сырья, в том числе базальтовых и других тугоплавких пород. Практически по всем технико-эконо-

мическим показателям она значительно превосходит вагранки, работающие на коксе.

Эксплуатация газовой вагранки показала эффективность нового плавильного агрегата, позволяющего:

- снизить удельный расход тепла на 1 тонну расплава на 15—20 %;
- получить температуру расплава 1500 °С, а следовательно, необходимую для его переработки вязкость;
- отказаться от установки к газовой вагранке системы подогрева воздуха или системы кислородного дутья, что значительно удешевляет строительство, повышает надежность и облегчает эксплуатацию;
- использовать в качестве сырья вместо шлаков не только базальтовые, но и другие тугоплавкие породы и тем самым получить теплоизоляционные материалы с новыми свойствами;
- снизить вредные выбросы в атмосферу в 8—10 раз по сравнению с коксовыми вагранками и отказаться от дополнительной установки к газовой вагранке системы дожига оксида углерода;
- сократить время вывода вагранки на рабочий режим с 3—4 часов до 45—60 минут;
- полностью автоматизировать процесс плавления.

Иностранные фирмы — производители оборудования для теплоизоляционной промышленности проявили большой интерес к созданной в АО «Термостепс» газовой вагранке. С одной из этих фирм («Гамма-Меканика», Италия) подписано соглашение о сотрудничестве по изготовлению и реализации этих плавильных агрегатов в России и за рубежом. Весной 2002 года в Самаре на заводе АО «МТЛ-Термостепс» введена в эксплуатацию вагранка такого типа, изготовленная в Италии.

Решение вопросов улучшения качества и расширения номенклатуры волокнистых утеплителей тесно связано с совершенствованием **узла волокнообразования**. Наиболее распространенным в России способом переработки минеральных расплавов в волокно является центробежно-дутьевой способ. При реализации этого способа раздува пленка расплава, образующаяся на вращающемся диске, раздувается паром, выходящим из кольцевого коллектора через несколько сотен отверстий. Однако этот способ не позволяет получить волокно нужного качества. Диаметр волокна составляет от 8 до 12 мкм. Расход пара на центробежно-дутьевых центрифугах достигает 1,5—2 т/ч на одну центрифугу [54].

Мировая практика производства минераловатных изделий показывает, что ведущие фирмы мира производят вату на **многовалковых центрифугах**. Диаметр волокна при этом снижается до 4—6 мкм. Свойства утеплителя значительно улучшаются. С 25—30 до

10—15 % снижаются потери расплава с неволоконистыми включениями, исключается применение пара.

В среднем по Российской Федерации многовалковые центрифуги составляют 26 % от общего количества волоконобразующих устройств. Это объясняется тем, что на большинстве заводов страны из-за стесненных условий существующих цехов весьма проблематично вписать новые узлы волоконобразования в существующие линии. Решая эту проблему, Теплопроект разработал принципиально новую малогабаритную камеру отдува волокна. Это позволило на ряде заводов АО «Термостепс» в короткое время реконструировать более 80 % узлов волоконобразования. Работа по замене старых центрифуг новыми продолжается.

Отечественные многовалковые центрифуги успешно работают на комбинате «Изоплит», Екатеринбургском ЗТИ. В 1997—2000 годах введены в эксплуатацию многовалковые центрифуги СМТ-183А производства АО «Строммашина». Такие центрифуги внедрены на пермском, самарском, волгоградском, кемеровском, ярославском и омском заводах. Стоимость новой центрифуги, включая проект привязки, составляет 4—5 млн руб.

Работы ученых и практиков последних лет позволяют утверждать, что значительная часть технологических переделов минераловатного производства имеет опробованные в отечественной промышленности решения современного уровня. В то же время в этой технологической цепочке остается открытым очень важный вопрос, связанный с разработкой, изготовлением и внедрением в промышленность современной **камеры тепловой обработки (полимеризации)**, способной по «сухому» способу обеспечить на одной быстро перенастраиваемой линии поточное производство плитного утеплителя различной заданной плотности (до 250 кг/м<sup>2</sup>) и различной толщины (от 40 до 250 мм). Именно такие камеры тепловой обработки обеспечили передовым фирмам мира прогресс и опережение в производстве минераловатных утеплителей [56].

В последние годы Теплопроект провел большую работу по созданию такого отечественного оборудования, им разработана рабочая документация на камеру тепловой обработки, которая смонтирована на Хабаровском заводе «Стекловолокно».

Одной из важнейших проблем на сегодняшний день является бережная перевозка и хранение утеплителей. Сохранить их эксплуатационные характеристики можно, используя такой известный прием, как **упаковка изделий** в различные пленки. Так, на ряде заводов АО «Термостепс» внедрены несколько моделей отечественных установок по механизированной упаковке плитных и рулонизируемых материалов в полиэтиленовую (термоусадочную) пленку.

Предлагаемые отечественные установки в 10—15 раз дешевле аналогичных зарубежных и обеспечивают хорошее качество упаковки. Изделия в такой упаковке не только хорошо хранятся и транспортируются, но также могут быть с успехом уложены в конструкцию.

Важным элементом как новых, так и известных волоконистых утеплителей является качественное, экологически безопасное **связующее**.

Практически все известные виды связующих, применяемых в отечественной теплоизоляционной промышленности, были разработаны 15—20 лет назад. В те годы основная часть минераловатных изделий использовалась на промышленных объектах, где срок их службы определялся временем капитального ремонта оборудования и не был велик. Сегодня, когда основная часть утеплителей применяется в строительстве, к связующим предъявляются такие повышенные требования, как неизменность структуры, стабильность геометрических размеров и теплофизических свойств на весь срок эксплуатации.

В последние годы появился целый ряд предложений по модификации известных связующих и новые предложения.

Так, на комбинате «Изоплит» (Тверская область) проводятся работы по модификации связующего и приданию изделиям водоотталкивающих свойств.

Теплопроект проведены работы по использованию в качестве связующих **силанов**. Разработана технология приготовления многокомпозиционного состава на силанах. По показателю водопоглощения полученные образцы находятся в пределах, регламентированных мировыми стандартами.

На Лианозовском электромеханическом заводе в цехе базальтового волокна испытано новое, экологически чистое связующее на основе **солей алюминия с аммиачной водой**. Преимуществами нового связующего являются отсутствие в его составе вредных веществ и возможность использования его при температуре до 1000 °С.

На этом заводе выпускаются плиты на новом **вододисперсном нетоксичном связующем «Ирикс-45»** по ТУ 2386-008-00249567-99, разработанном ГУП НИПИ «Научстандартдом» и опробованном совместно с Теплопроект. Связующее представляет собой суспензию антисептирующих и огнезащитных добавок в пленкообразующей дисперсии. Основными достоинствами связующего «Ирикс-45» являются неограниченная растворимость его водой, длительный гарантированный срок хранения (6 месяцев при температуре от 5 до 40 °С), низкая температура отверждения пленки (не более 130 °С).

Однако высокая скорость пленкообразования и твердения не позволяют пока применить это связующее наиболее распространен-



ным способом — впрыскиванием в камеру волокноосаждения. Поэтому такое связующее опробовано только в линии, где смачивание ковра производят методом пролива, и в гидромассе.

Ряд заводов России в качестве связующего применяет **бентонитовую глину**. Технология его приготовления заключается в помолу бентонитовой глины, приготовлении шликера с добавлением кальцинированной соды, суточном пропаривании смеси до 90 °С до образования гелеобразного бентаколлоидного связующего. Отформованные на конвейере плиты вакуумируются, а затем подвергаются сушке при 300 °С и тепловой обработке при 550—600 °С. Образуется водонерастворимый керамический черепок, связывающий волокна. Полученные плиты выгодно отличаются от аналогов на синтетическом связующем негорючестью и экологической чистотой. Связующее обеспечивает стабильность эксплуатационных свойств до 700 °С и отсутствие вредных газовыделений практически до температуры плавления (1200 °С). В случае применения таких плит при обычных температурах, например в жилищном строительстве, в гидромассу при формировании вводят кремнийорганические гидрофобизаторы, которые придают плитам водоотталкивающие свойства.

К новым волокнистым теплоизоляционным материалам, которые разрабатывает Теплопроект в последние годы, следует отнести **пластмигран** и **волокнистые изделия на кожевенных отходах** (разработанные МГСУ и осваиваемые на опытном заводе Теплопроекта). Объединяет эти два материала то, что оба они предназначены для жилищного строительства, экологически чисты и технологичны в монтаже.

**Пластмигран** представляет собой материал, состоящий из минераловатных гранул и пыли полистирола. Эта смесь помещается в перфорированную металлическую форму любой конфигурации и продувается паром. Вспенивающаяся полистирольная пыль прочно связывает волокно. Опытное оборудование изготовлено и смонтировано на Щуровском комбинате «Стройдеталь» (Московская область).

В нашей стране все шире производятся и используются в строительстве такие недавно экзотические материалы, как **тонкое и супертонкое волокно**. Эти материалы находят все большее применение в огнезащите строительных конструкций, в изоляции инженерного и промышленного оборудования. Однако широкому внедрению этих качественных материалов в строительство и промышленность препятствуют дороговизна оборудования (платиновые фильтры), высокая энергоемкость и малая производительность традиционного двухстадийного процесса (50—200 кг в сутки).

В Теплопроекте ведутся работы по созданию технологии и оборудования для получения супертонкого волокна непосредственно из минеральных расплавов в одностадийном процессе (эжекционно-акустическим способом).

Новая технология получения супертонкого волокна обеспечивает в 10—15 раз более высокую производительность, чем дуплекс-процесс. Она дает возможность отказаться от применения драгоценного металла и существенно сократить энергозатраты. При этом используется энергия акустических колебаний в дутьевой эжекционно-акустической головке конструкции Теплопроекта. Такая дутьевая головка не нуждается в специальном охлаждении, поскольку при ее работе возникает экзотермический эффект. Давление энергоносителя снижено с 0,7—1 до 0,3—0,45 МПа, а его расход на 1 т волокна — с 8 до 2—4 т (в сравнении с дутьевой головкой ВНИИСПБ, применяемой в производстве муллитокремнеземистого волокна).

Дутьевая эжекционно-акустическая головка комплектуется несколькими легко заменяемыми резонаторами, каждый из которых позволяет получать колебания определенной частоты и амплитуды, наиболее соответствующие вязкости перерабатываемых расплавов.

Различные модификации дутьевой эжекционно-акустической головки дают возможность вносить обусловленные технологией изменения в процесс волокнообразования. Например, в ходе процесса можно осуществлять подачу в факел раздува дополнительного топлива, горячих топочных газов, замасливающих составов, связующего и т. п. Варьируя параметрами акустического поля, можно получать волокна с заданными свойствами, а процесс волокнообразования существенно интенсифицировать.

Эффективность дутьевых головок Теплопроекта заключается в снижении материало- и энергозатрат на волокнообразование. Производительность эжекционно-акустических головок на разных расплавах варьирует от 50 до 350 кг/ч (у головки с вихревым резонатором). Выход волокна из расплава составит не менее 92 %, содержание неволокнистых включений и корольков в вате — не более 8—10 %, а в отдельных случаях — до 5 %.

На Лианозовском электромеханическом заводе в цехе базальтового волокна производят жесткие плиты из гидромассы, которую готовят из супертонких базальтовых волокон и экологически чистого связующего — солей алюминия с аммиачной водой. Плиты рекомендуются к применению во всех видах строительства, включая жилищное, в качестве закладного утеплителя в каркасных конструкциях стен, перегородок, перекрытий, а также при организации огнезащиты стальных дверей и других конструкций.

Для производителей базальтового волокна представит интерес новая разработка АО «Судогодское стекловолокно» — ванная плавильная печь с погружными молибденовыми электродами. Имея небольшие габариты (3,2 × 1,5 × 1,6 м) и установленную мощность трансформаторов 250 кВ·А, печь обеспечит производительность до

200 кг/ч расплава. Это позволит выпускать до 25 тыс. м<sup>3</sup> в год рулонных матов плотностью 25—50 кг/м<sup>2</sup>. Наряду с малыми габаритами и расходом электроэнергии на плавление, печи данной конструкции не требуют дорогостоящих систем очистки и рекуперации отходящих газов, позволяют легко регулировать температуру расплава, выдавать калиброванную струю на переработку в волокно.

К волокнистым теплоизоляционным материалам, получившим развитие в России в последние годы, следует отнести **стекловолокно**. В стране имеется 7 заводов по производству стекловолокнистых утеплителей. Самым крупным и современным является ОАО «Флайдерер-Чудово», выпускающее продукцию мирового качества на оборудовании германского концерна «Флайдерер».

В 2000 году Теплопроект детально исследовал эксплуатационные характеристики продукции этого завода и выпустил альбом рекомендаций по использованию утеплителей АО «Флайдерер-Чудово» в различных строительных конструкциях [73, 74, 75].

Производство других относительно небольших производств ограничивается товарным стекловолокном, прошивными матами или матами на синтетическом связующем. Развитие в стране производства этого прогрессивного материала сдерживается отсутствием надежного отечественного оборудования и стабильной научной школы по стекловолокну. Теплопроект приступил к проектированию линии стекловолокна, используя как собственные представления о процессе, так и зарубежные наработки.

Новым шагом на пути совершенствования волокнистых рулонных материалов является **термозвукоизол**, к производству которого приступило АО «Судогодское стекловолокно». Строительная фирма «Корнев и К°» предложила упаковывать холстопршивное полотно в надежную защитную оболочку, в качестве которой используется «Лутрасил» — материал, состоящий из прочного, легкого монофиламентного полипропиленового синтетического волокна. «Лутрасил» не пропускает пыль, не отсыревает. Оболочка из «Лутрасила» сохраняет свои свойства до 130—150 °С.

#### *Теплоизоляционные материалы на органической основе*

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

**Пенопласты** представляют вторую основную группу теплоизоляционных материалов. К ним относятся пенополистирол, пенополиуретаны, пенополиизоцианаты, фенолформальдегидные и карбамидформальдегидные пенопласты. Появились на рынке России вспененные каучуки и вспененный полиэтилен [60].

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 их производства. Очевидно, в ближайшие годы эта тенденция сохранится. Об этом свидетельствуют также многочисленные технические решения теплоэффективных наружных стен жилых зданий, выполненные с применением пенопластов.

Наиболее широко применяемым в отечественном строительстве пенопластом является **пенополистирол**. Объем производства беспресового пенополистирола составил в 2002 году около 1,5 млн м<sup>3</sup>. Лидерами по производству пенополистирола в стране являются комбинат «Стройпластмасс» (г. Мытищи) и «ТИГИ-Кнауф» (г. Красногорск, 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. Это прежде всего закрытая пористость и вследствие этого минимальное водопоглощение и 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».

**Жесткий заливочный пенополиуретан** производится в России главным образом для изоляции труб тепловых сетей. Крупнейшим заводом, производящим предизолированные пенополиуретаном трубы в полиэтиленовой оболочке, является СП «Мосфлулайн». Завод оснащен оборудованием, поставленным голландской фирмой «Селмерс» [37, 38].

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. Этот вид теплоизоляционных работ хорошо освоен такими известными российскими фирмами, как АО «Стройтеплоизоляция» (г. Москва), АО «Теплоизоляция» (г. Самара) и др.

В современных условиях как существующие, так и перспективные нормы можно обеспечить, используя утеплители на органической основе. Так, в трехслойных панелях существующего парка форм наилучшие результаты по сопротивлению теплопередаче получают, используя пенополистирол ( $2,07\text{—}3,9\text{ м}^2\text{°С/Вт}$ ), фенольно-резольный пенопласт ( $2,03\text{—}3,85\text{ м}^2\text{°С/Вт}$ ), плиты из минеральной ваты ( $2,29\text{—}3,2\text{ м}^2\text{°С/Вт}$ ).

Для возведения стен и покрытий одноэтажных производственных зданий применяют панели унифицированные бескаркасные двухслойные (ТУ 480-1-166-92). Панели изготавливаются непрерывным способом, включающим формование металлической глубоко гофрированной облицовки и вспенивание композиционной **новолачной смолы** в этой облицовке (АО «Стройперлит», г. Мытищи). При ширине 1219 мм панели могут иметь длину от 2400 до 7200 мм. Они легки —  $1\text{ м}^2$  плиты весит 18,5 кг. По боковой грани плиты имеют герметичный замок. Тем же предприятием выпускаются плиты теплоизоляционные из **перлитопластбетона**. Являясь, по сути, наполненным пенопластом, этот утеплитель работает при температуре от  $-60$  до  $+130\text{ °С}$ . Плиты изготавливаются трех сечений:  $1000 \times 40$ ,  $1000 \times 50$ , и  $1200 \times 50$  мм. Длина определяется заказчиком в пределах  $1,5\text{—}3,5$  м. Все оборудование — отечественного производства.

Из теплоизоляционных конструкций на полимерной основе представляют интерес разработанные ЦНИИПроектлегконструкция и выпускаемые АО «Мопопанель» (г. Талдом Московской области) кровельные панели полной заводской готовности (ТУ 5284-101-04614443-97). В качестве теплоизоляционного слоя в панелях применен пенопласт **пенорезол**.

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. Сырьем для производства пеноизола служат дешевые и недефицитные

российские компоненты. Хорошие теплофизические характеристики материала, возможность приобретения у разработчика комплекта оборудования по его производству способствовали достаточно быстрому распространению пеноизола в стране. Так, газожидкостные установки НТЦ «МЕТТЭМ»-ГЖУ-1 сегодня работают в строительных организациях Московской области, Санкт-Петербурга, Минска, Кирова, Новосибирска, Сыктывкара, Сургута, Владикавказа, Кемеровской, Мурманской, Омской областей, в Татарстане и других регионах России. В настоящее время «МЕТТЭМ» много внимания уделяет вопросу долговечности пеноизола, поскольку для этого материала вопрос долговечности является определяющим [69].

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 поставляется 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 ( $0,033\text{—}0,039\text{ Вт/мК}$  при  $10\text{ °С}$ ), высокое сопротивление проникновению пара (фактор  $\mu = 3000\text{—}7000$ ) 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. Необходимостью удовлетворения потребностей строительства с меньшими затратами и объясняется в наше кризисное время увлечение пенопластами. Вместе с тем, если учитывать пожаробезопасность зданий; их долговечность, стабильность теплотехнических и физических свойств во всем периоде их эксплуатации, приоритет должен быть отдан неорганическим утеплителям.

### **Теплоизоляционные материалы на неорганической основе**

Утеплители на неорганической основе, а к ним, безусловно, относятся и рассмотренные выше волокнистые теплоизоляционные материалы из минерального и стекловолокна, являются доминирующими в решении вопросов теплозащиты зданий и оборудования. Это объясняется их экологической чистотой, пожаробезопасностью и долговечностью.

Наибольшее распространение в строительстве получили **теплоизоляционные бетоны** — как газонаполненные (пенобетон, ячеистый бетон, газобетон), так и на основе легких заполнителей (керамзитобетон, перлитобетон, полистиролбетон 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 последние годы стоимости энергии увеличивается удельный вес безавтоматических ячеистых бетонов — **пенобетонов** [61].

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 таких странах мира, как Германия, Швеция, США, Южная Корея и др.

Неопор-бетон — легкий ячеистый бетон, полученный в результате твердения раствора, состоящего из цемента, песка, воды и пены, образованной с использованием протеинового пеноконцентрата. Заданная плотность бетона достигается изменением соотношения компонентов.

Построены тысячи домов и сооружений, в которых неопор-бетон 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 700—1400 кг/м<sup>3</sup>). Есть опыт применения неопор-бетона на ДСК и заводах ЖБИ России.

Акционерное общество «Новостром», входящее в состав ЗАО «Корпорация стройматериалов», с 1992 года разрабатывает отечественный вариант технологии теплоизоляционного пенобетона, который не уступает по своим характеристикам неопор-бетону, а по доступности пенообразователя и стоимости оборудования значительно превосходит немецкий вариант. Это достигнуто за счет использования ноу-хау и патентов отечественных отраслевых институтов и организаций: АО «Новостром», НИИСМ (г. Киев), МГСУ, ВНИИСтром и др.

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.

При достаточно интенсивном развитии строительства из пенобетона, пенополистиролбетона в стране не выпускаются теплые кладочные растворы и сухие смеси. Вместе с тем за рубежом (например, фирма «Отави», Германия) для улучшения теплотехнических характеристик зданий, строящихся из таких материалов, выпускают и используют кладочные растворы на вспученном перлите. Плотность такого раствора в шве составляет 500—600 кг/м<sup>3</sup>. Это позволяет ликвидировать мостики холода в кладке. Производство такого материала несложно организовать на заводах, производящих вспученный перлит, либо на заводах сухих смесей.

Кладочные растворы на вспученном перлите начиная с 2002 года начало выпускать ОАО «Головной завод». В зависимости от теплопроводности используемого материала стен выпускается раствор с тем же коэффициентом теплопроводности и доставляется в жидком виде на строительную площадку. С заданными теплофизическими свойствами может быть изготовлена и сухая смесь, затворение которой может быть произведено непосредственно на строительной площадке. Такие растворы могут быть использованы как при изготовлении сэндвич-панелей стеновых конструкций, так и при изоляции методом заливки полостей стен кирпичной кладки и при монолитном домостроении. Перлитовые растворы хорошо зарекомендовали себя при изоляции пространства между потолком верхнего этажа и кровлей при утеплении домов старых серий.

В Теплопроекте 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 10 до 50 кг/см<sup>2</sup>, коэффициент теплопроводности — 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 формования.

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 получают 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., однако, на наш взгляд, приоритет должен быть отдан неорганическим материалам. Связующее — цемент, гипс. 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 газопроницаемость. 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. В среднем в 1990-х годах, ежегодный прирост объемов производства этого материала составил около 10 % [57].

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.

На начало 1990-х годов в Советском Союзе производилось не менее 2 млн м<sup>3</sup> в год этого материала на более чем 60 заводах. На большинстве заводов действовали отечественные линии, разработанные Теплопроектом.

В настоящее время работают 14 предприятий, которые производят 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.

На наш взгляд, вспученный перлит далеко не исчерпал себя и в строительстве. 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.

Отличие термоперлита от других известных изделий из перлита состоит в низкой влажности формовочной массы (25—35 %). Это позволяет организовать их изготовление по прокатно-конвейерной технологии и сделать его практически безотходным. Кроме того, пониженная влажность формовочной массы этих изделий позволяет на 25—30 % снизить энергозатраты на их тепловую обработку. Все эти материалы экологически и пожаробезопасны.

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.

Малая начальная влажность позволяет вести процесс спекания в одну стадию по конвейерной технологии в течение 1,5—2 часов при температуре 580 °С.

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, теоретичес-

кие знания о процессе позволяют утверждать, что в процессе выхода страны из экономического кризиса вспученный перлит, этот уникальный по своим свойствам и сферам применения материал, 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. Вместе с тем в ряде направлений использования вермикулиту нет равных. 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 [30].

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 стандартных кирпичей до плит. Кирпич может быть использован при строительстве печей, других тепловых агрегатов, в коттеджном малоэтажном строительстве как несущий конструкционный материал, а в многоэтажном строительстве — как утеплитель.

### **Теплозвукоизоляционные и теплоогнезащитные материалы**

Многие теплоизоляционные материалы имеют двойное, тройное назначение и используются для звукопоглощения и в огнезащите. В связи с этим при разработке новых теплоизоляционных материалов следует по возможности больше внимания уделять этим направлениям применения утеплителей.

Так, в Теплопроекте изучена возможность придания лучших характеристик по звукопоглощению волокнистым материалам.



В частности, с этих позиций оптимизированы свойства такого нового материала, каким является **пластмигран**, описанный выше.

Теплопроектом на собственном опытном заводе освоено производство нового огнезащитного материала — **термофобсита**. Термофобсит представляет собой неорганический материал плотностью 400—800 кг/м<sup>3</sup> с интегрально-пористой структурой, обеспечивающей ему низкую теплопроводность вплоть до 1200 °С. Наряду с этим при воздействии на термофобсит высоких температур пламени при пожаре в его внутренних слоях образуется газовая фаза. Газ, выходя из материала навстречу тепловому потоку, препятствует проникновению тепла и предохраняет тем самым защищенную им конструкцию от разрушения.

На наш взгляд, такой материал найдет применение при строительстве хранилищ, цехов и зданий для огнеопасных производств, лифтов, для огнезащиты электрических кабелей, металлических и других несущих конструкций.

К вопросу рационального использования современных утеплителей тесно примыкает проблема производства и использования качественных **защитно-покровных материалов** и конструкций тепловой изоляции. Исследования Теплопроекта, результаты обследования и эксплуатации теплоизолированных объектов показывают, что срок службы изоляции в первую очередь зависит от того, насколько надежно защищена сама тепловая изоляция от внешних воздействий, как решена вся теплоизоляционная конструкция.

В настоящее время в изоляционных конструкциях применяются различные виды защитных покрытий. Это листовые покрытия, выполненные из оцинкованной стали, алюминиевых сплавов, рулонные и листовые стеклопластики, фольгированные и дублированные материалы, стеклоцемент и др.

Применение того или иного вида защитного покрытия определяется условиями эксплуатации утеплителя. В обычных условиях наибольшей долговечностью (10—12 лет) характеризуются металлические защитные покрытия из оцинкованной стали и алюминиевых сплавов. Однако на промышленных предприятиях при воздействии химически агрессивных сред срок службы металлических защитных покрытий часто не превышает 2—3 лет. В этих условиях более долговечными являются покрытия на основе полимерных материалов. Однако надо иметь в виду, что применение даже наиболее эффективных теплоизоляционных материалов не решает проблему долговечности, если работы выполняют неспециализированные организации и качество работ не отвечает современным требованиям.

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.

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 капиталовложения 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 бизнесом. Инвестиции на строительство объекта или установки по производству эффективного утеплителя окупаются через 1,5—2,5 года.

Анализ роста цен за последнее десятилетие показывает, что стоимость теплоизоляционной продукции выросла в 10—12 раз, в то время как стоимость оборудования и капвложения в организацию ее производства выросли в 3—4 раза.

## 1.2. Классификация теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы в зависимости от назначения подразделяют на *изоляционно-строительные*, которые применяют для утепления строительных ограждений, и *изоляционно-монтажные* — для утепления трубопроводов и промышленного оборудования. Деление это условно, так как некоторые материалы используют как для изоляции строительных конструкций, так для изоляции промышленных объектов.

Теплоизоляционные материалы (ГОСТ 16381—77\*) классифицируют по следующим признакам:

### 1. *Форме и внешнему виду:*

- штучные (плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, полуцилиндры, сегменты);

- рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты);
- рыхлые и сыпучие (вата, перлитовый песок и др.).

### 2. *Структуре:*

- волокнистые (минераловатные, стекловолкнистые и др.);
- зернистые (перлитовые, вермикулитовые);
- ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты, совелитовые и др.).

### 3. *Виду исходного сырья:*

- неорганические;
- органические;
- композиционные.

### 4. *Средней плотности:*

• на группы и марки, указанные в табл. 1.1; материалы, которые имеют промежуточные значения плотности, не совпадающие с указанными выше, относятся к ближайшей большей марке.

### 5. *Жесткости:*

- мягкие (М) — сжимаемость свыше 30 % при удельной нагрузке 0,002 МПа (минеральная и стеклянная вата, вата из каолинового и базальтового волокна, вата из супертонкого стекловолокна, маты и плиты из штапельного стекловолокна);

- полужесткие (П) — сжимаемость от 6 до 30 % при удельной нагрузке 0,002 МПа (плиты минераловатные и из штапельного стекловолокна на синтетическом связующем);

- жесткие (Ж) — сжимаемость до 6 % при удельной нагрузке 0,002 МПа (плиты из минеральной ваты на синтетическом или битумном связующем);

- повышенной жесткости (ПЖ) — сжимаемость до 10 % при удельной нагрузке 0,04 МПа (плиты минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем);

- твердые (Т) — сжимаемость до 10 % при удельной нагрузке 0,1 МПа.

### 6. *Теплопроводности:*

- класс А — низкой теплопроводности — теплопроводность при средней температуре 298 К (25 °С) до 0,06 Вт/(м · К);

- класс Б — средней теплопроводности — теплопроводность при средней температуре 298 К от 0,06 до 0,115 Вт/(м · К);

- класс В — повышенной теплопроводности — теплопроводность от 0,115 до 0,175 Вт/(м · К);

### 7. *Горючести (СНиП 21-01—97):*

- негорючие (НГ);

- слабогорючие (Г1);

- умеренногорючие (Г2);

- нормальногорючие (Г3);

- сильногорючие (Г4).

Таблица 1.1

Классификация теплоизоляционных материалов по средней плотности.

Обозначение группы	Группа	Марка	Материалы
ОНП	Особо низкой плотности	15; 25; 35; 50; 75	Минеральная вата марки 75 и менее; каолиновое волокно; пенопоропласты; ультра- и супертонкое стекловолокно; базальтовое волокно; вспученный перлит; плиты минераловатные, стекловолкнистые и др.
НП	Низкой плотности	100; 125; 150; 175	Минеральная вата марки более 75; стеклянная вата из непрерывного стекловолокна; плиты минераловатные на синтетическом связующем; прошивные минераловатные маты и др.
СП	Средней плотности	200; 225; 250; 300; 350	Изделия совелитовые, вулканитовые, известково-кремнеземистые, перлитцементные; плиты минераловатные на битумном связующем; шнуры минераловатные и др.
ПЛ	Плотные	400; 450; 500; 600	Изделия пенодиатомитовые, диатомитовые, из ячеистого бетона; битумперлит монолитный и др.

### 1.3. Теплоизоляционная конструкция и ее 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 и энергетических систем, холодильных установок; теплофикационные сети;
- промышленные печи и дымовые трубы;
- жилые и промышленные здания и сооружения;
- транспортные средства.

Объекты тепловой изоляции в нефтяной и химической промышленности — 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, котельных местного значения. Тепловой изоляции подлежат паровые котлы, паровые и газовые турбины, подогреватели, испарители, деаэраторы, баки, бойлеры, насосы, дымососы, газоходы, вентиляторы, сепараторы, циклоны и др.

В промышленных тепловых агрегатах изолируются доменные, нагревательные, термические, стекловаренные, 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, междуэтажные и 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.

Теплоизоляционные конструкции состоят из следующих основных элементов:

- теплоизоляционного слоя;
- кровного слоя, предохраняющего основной от атмосферных осадков, механических повреждений, воздействия агрессивных сред;
- пароизоляционного слоя, защищающего изоляцию от атмосферной влаги;
- крепежных деталей, которыми крепят теплоизоляционный и кровный слои между собой и к изолируемой поверхности, а также обеспечивают жесткость конструкции.

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

Теплоизоляционный слой, как правило, непосредственно примыкает к изолируемой поверхности и выполняет теплозащитную функцию. В ряде случаев производят антикоррозионную 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.

• *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.

• *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. Конструкции требуют тщательной подгонки друг к другу в процессе монтажа.

• *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.

• *Засыпные (набивные)* конструкции изготавливают из сыпучих волокнистых или порошкообразных материалов.

• *Мастичные* конструкции — из мастик, приготовленных из порошкообразных или волокнистых материалов.

• *Литые* конструкции. В пространство между изолируемой поверхностью и ограждением (опалубкой), например кожухом покрытия, заливают жидкие компоненты, 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 шпунтами и оснащен деталями для крепления конструкции на изолируемом объекте;

— *конструкция теплоизоляционная комплектная (КТК)* — 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 насыпные, 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 многослойные* (двух- и трехслойные). Многослойная изоляция бывает однородная или неоднородная, т. е. выполненная из двух теплоизоляционных материалов или изделий и более.

## Глава 2. СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ И МЕТОДЫ ИХ КОНТРОЛЯ

Для того чтобы успешно решить задачу, поставленную при создании и возведении теплоизоляционной конструкции, необходимо, чтобы выбранные теплоизоляционные материалы отвечали определенным требованиям. Среди наиболее значимых требований — низкая и постоянная в течение всего времени эксплуатации теплопроводность, способность не разрушаться под воздействием атмосферных явлений и температуры изолируемого объекта, не вызывать коррозии и разрушения изолированного объекта, не препятствовать температурным деформациям изолированного объекта. Срок службы изоляции, как правило, не должен быть ниже срока службы изолированного объекта.

Суждение по этим и другим свойствам теплоизоляционных материалов можно вынести после рассмотрения совокупности свойств, определенных общепринятыми методами.

### 2.1. Плотность

**Плотность** — величина, равная отношению массы вещества к занимаемому им объему (без учета пор и пустот). Плотность определяют ( $\text{г/см}^3$ ,  $\text{кг/м}^3$ ,  $\text{т/м}^3$ ) по формуле

$$\rho = m / V,$$

где  $m$  — масса материала, кг (г, т);  $V$  — объем, занимаемый этим материалом,  $\text{м}^3$  ( $\text{см}^3$ ).

**Средняя плотность** — величина, определяемая отношением массы  $m$  тела или вещества ко всему занимаемому объему  $V$ , включая имеющиеся поры и пустоты. Среднюю плотность  $\rho$  ( $\text{г/см}^3$ ,  $\text{кг/м}^3$ ) для штучных изделий, рулонных и шнуровых материалов, изделий и материалов с плоской поверхностью в состоянии естественной влажности вычисляют по формуле (ГОСТ 17177—94)

$$\rho = m / [V(1 + 0,01 W)],$$

где  $W$  — массовая влажность изделия или материала, %.

Знание плотностной характеристики теплоизоляционного материала дает массу информации о его теплоизоляционных и прочност-

ных свойствах. Чем меньше средняя плотность материала, тем меньше его теплопроводность. Однако, чем меньше этот показатель, тем хуже его монтажная прочность и часто больше водопоглощение, а следовательно, такая конструкция может быть менее долговечна. Для различных теплоизоляционных материалов в условиях работы в конкретной конструкции имеется свой оптимум по средней плотности.

Для определения средней плотности необходимо знать массу материала в состоянии естественной влажности, его объем и влажность. Массу материала находят взвешиванием, а влажность — высушиванием образца при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Объем образца материала определяют одним из следующих методов.

Объем штучных, рулонных и шнуровых изделий вычисляют по формулам на основании линейных размеров.

Толщину уплотняющих минераловатных и стекловолокнистых изделий (плит, прошивных матов) измеряют толщиномером (рис. 2.1).

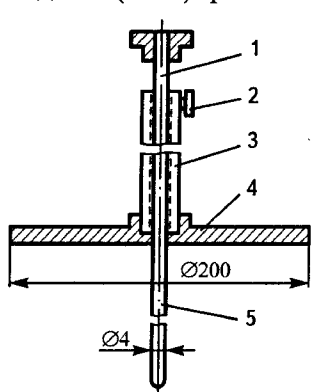


Рис. 2.1. Игольчатый толщиномер:

1 — стержень; 2 — зажимный винт; 3 — трубка; 4 — диск; 5 — игла

Масса диска 4 с трубкой 3 толщиномера создает удельные нагрузки, предусмотренные соответствующими стандартами (ГОСТами) или техническими условиями (ТУ) на эти материалы. Так, для изделий, не содержащих связующее вещество, удельная нагрузка равна  $0,0001 \text{ МПа}$ . Для изделий, содержащих связующее вещество и имеющих плотность не более  $175 \text{ кг/м}^3$ , —  $0,0005 \text{ МПа}$ . Для изделий, содержащих связующее вещество и имеющих плотность более  $175 \text{ кг/м}^3$ , удельная нагрузка равна  $0,002 \text{ МПа}$ .

Объем рыхлых волокнистых материалов (минеральной и стеклянной ваты) определяют на специальном приборе (рис. 2.2), который металлическим диском 2, создающим удельное давление  $0,002 \text{ МПа}$ , уплотняет материал. В цилиндре 1 прибора помещают горизонтальными слоями испытуемый материал массой  $0,5 \text{ кг}$ ; на него с помощью подъемного устройства 4 опускают металлический диск и выдерживают в таком состоянии в течение 5 минут. Затем по шкале, нанесенной на стержень 3, измеряют высоту  $h$  и подсчитывают объем  $V$  по формуле

$$V = \pi R^2 h,$$

где  $R$  — радиус цилиндра, м;  $h$  — высота сжатого слоя материала в цилиндре, м.

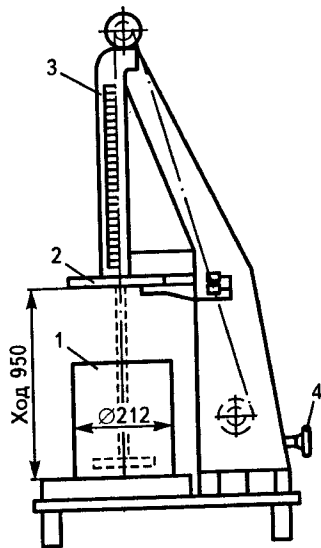


Рис. 2.2. Прибор для определения средней плотности рыхлых волокнистых материалов: 1 — цилиндр; 2 — диск; 3 — стержень со шкалой; 4 — подъемное устройство

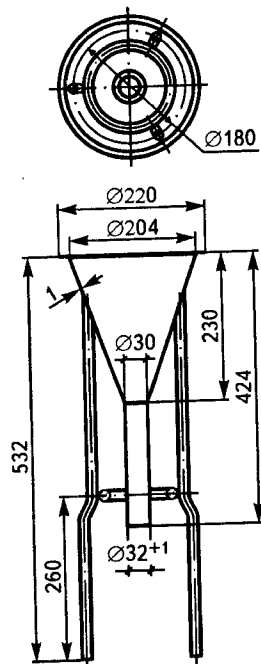


Рис. 2.3. Воронка

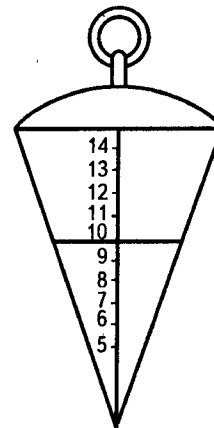


Рис. 2.4. Конус

ная консистенция массы соответствует глубине погружения конуса на  $10 \pm 1$  см. Формы для изготовления образцов размером  $200 \times 40 \times 40$  мм устанавливают на металлическую пластину, смазанную машинным маслом, и заполняют приготовленным раствором. Раствор в углах формы уплотняют концом ножа, после чего поверхность раствора заглаживают лезвием ножа заподлицо с бортами формы. Заполненные формы высушивают при температуре  $105-110^\circ\text{C}$  ( $378-383\text{ K}$ ) до постоянной массы. После извлечения из форм образцы измеряют с погрешностью  $0,2$  мм, затем взвешивают с погрешностью  $0,01$  г и вычисляют их плотность  $\rho$ ,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho = 1000 m/V,$$

где  $m$  — масса образца, г;  $V$  — объем образца,  $\text{см}^3$ .

## 2.2. Пористость

**Пористость** — степень заполнения объема материала порами. Истинной, или общей, пористостью изделия  $\Pi_{\text{и}}$  (%) называют отношение объема пор  $V_{\text{пор}}$  к полному объему изделия:

$$\Pi_{\text{и}} = (V_{\text{пор}}/V) 100.$$

Во всех случаях  $\Pi_{\text{и}} = \Pi_{\text{откр}} + \Pi_{\text{закр}}$ .

Истинная пористость может быть подсчитана по формуле

$$\Pi_{\text{и}} = (1 - \rho_{\text{об}}/\rho) 100,$$

где  $\rho_{\text{об}}$  — объемная масса изделия,  $\text{г/см}^3$ ;  $\rho$  — плотность изделия,  $\text{г/см}^3$ .

Из формулы видно, что чем меньше средняя плотность материала, тем больше его пористость. Известно, что чем меньше средняя плотность материала, тем лучше его теплоизоляционные свойства при средней температуре ( $20-25^\circ\text{C}$ ) слоя. Это определяется высокой пористостью материалов, т. е. наличием большого количества воздуха в порах, у которого очень низкая теплопроводность ( $0,027 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$  при температуре  $20^\circ\text{C}$  в спокойном состоянии).

Теплоизоляционные свойства материалов зависят не только от числового значения пористости, но и от вида материала, структуры пор, их размеров и формы, степени равномерности расположения пор в материале, а также от того, являются ли поры закрытыми или сообщаются одна с другой и с окружающим воздухом (открытая пористость). Наилучшими теплоизоляционными свойст-

Плотность сыпучих зернистых материалов (вспученных перлитов, вермикулита, совелита-порошка и др.) определяют отношением массы материала, засыпанного в мерный сосуд, к объему этого сосуда.

Пробу материала насыпают через воронку (рис. 2.3) с высоты  $10$  см в предварительно взвешенный сосуд до образования над его верхом конуса, который удаляют без уплотнения вровень с краями сосуда линейкой. Этот сосуд с материалом взвешивают.

Плотность пробы  $\rho$ ,  $\text{кг/м}^3$ , вычисляют по формуле

$$\rho = (m_2 - m_1)/V(1 + 0,01 W),$$

где  $m_1$  — масса мерного сосуда, кг;  $m_2$  — то же с пробой, кг;  $V$  — объем мерного сосуда,  $\text{м}^3$ ;  $W$  — влажность пробы материала, %.

Плотность материалов для мастичной изоляции (совелита, ньювеля, асбестодиатомовых порошков и др.) определяют на отформованных и высушенных образцах-балочках.

Пробу материала затворяют водой до нормальной консистенции, проверяемой с помощью конуса СтройЦНИЛа (рис. 2.4). Нормаль-



вами обладают материалы с равномерно расположенными мелкими порами.

От пористости зависят основные свойства материалов: теплопроводность, водопоглощение, морозостойкость, прочность.

### 2.3. Теплопроводность и теплоемкость

**Теплопроводность** — способность материала передавать через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на противоположных поверхностях. Различные материалы проводят теплоту по-разному: одни быстрее (например, металлы), другие медленнее (теплоизоляционные материалы).

Теплопроводность характеризуется количеством теплоты (Дж), проходящей в течение 1 ч через образец материала толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup>, при разности температур на противоположных плоскостях в 1 К. Теплопроводность обозначают буквой  $\lambda$  (лямбда) и выражают в Вт/(м·К). К теплоизоляционным относят материалы с теплопроводностью не более 0,175 Вт/(м·К) при средней температуре слоя 298 К и влажностью, нормированной ГОСТами или ТУ.

Теплопроводность зависит от средней плотности материала (с увеличением средней плотности теплопроводность возрастает), его структуры, пористости, влажности и средней температуры слоя материала. Чем выше пористость (меньше средняя плотность) материала, тем ниже теплопроводность. С увеличением влажности материала теплопроводность резко возрастает, при этом понижаются его теплоизоляционные свойства. Поэтому все теплоизоляционные материалы хранят в помещении или под навесом, а в теплоизоляционной конструкции защищают от попадания влаги покровным слоем.

Зависимость теплопроводности  $\lambda$  от средней температуры теплоизоляционного слоя можно выразить в виде линейной функции

$$\lambda = \lambda_0 + bt_{cp},$$

где  $\lambda_0$  — теплопроводность при 273 К, Вт/(м·К);  $b$  — постоянная для данного материала величина, показывающая изменение теплопроводности при увеличении температуры на 1 К (принимается по справочным данным);  $t_{cp} = (t_1 - t_2)/2$  — средняя температура теплоизоляционного слоя, К;  $t_1, t_2$  — температура соответственно наружной и внутренней поверхностей теплоизоляционного слоя, К.

Из формулы видно, что с увеличением средней температуры теплоизоляционного слоя и постоянной  $b$  теплопроводность материала возрастает. Чем меньше плотность теплоизоляционного материала, тем больше значение  $b$ .

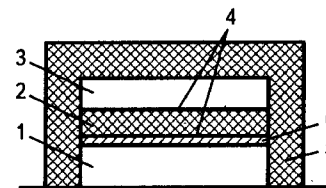


Рис. 2.5. Прибор для определения теплопроводности: 1, 3 — термостатированные плиты; 2 — образец; 4 — термоэлектрические преобразователи; 5 — тепломер; 6 — теплоизолированный кожух

Теплопроводность определяют на специальном приборе (рис. 2.5). Между термостатированными плитами 1 и 3, при помощи которых создают и поддерживают необходимую разность температур, устанавливают образец 2 размером 250 × 250 мм, толщиной 10—50 мм. Между образцом и нижней плитой 1 помещают тепломер 5 — измеритель теплового потока. Температуру на поверхностях образца измеряют термоэлектрическими преобразователями (по две термопары (4) на каждую сторону образца). Поток теплоты создается сверху вниз.

При испытании образец 2 укладывают на тепломер и плотно прижимают верхней термостатированной плитой 3, устанавливают температуру верхней и нижней плит 1, 3 в зависимости от условий эксплуатации материала и затем вычисляют теплопроводность по формуле

$$\lambda = q\delta/(t_1 - t_2),$$

где  $q$  — тепловой поток, проходящий через образец площадью 1 м<sup>2</sup>, Вт/м<sup>2</sup>;  $\delta$  — толщина образца, м;  $t_1, t_2$  — температура соответственно верхней и нижней поверхностей образца, К.

Полученное значение теплопроводности относится к средней температуре  $t_{cp}$  испытаний. Теплопроводность конструкции выше, чем теплопроводность самого материала, за счет наличия крепежных деталей, увеличения средней плотности вследствие уплотнения (для волокнистых материалов) и т. д.

**Теплоемкость** — способность материала при нагревании поглощать теплоту. Теплоемкость определяется отношением количества теплоты, сообщаемого телу, к соответствующему изменению температуры:

$$C = Q/T,$$

где  $C$  — теплоемкость тела, Дж/К;  $Q$  — количество теплоты, сообщаемое телу, Дж;  $T$  — изменение температуры при нагревании тела, К.

*Удельной теплоемкостью* называется отношение теплоемкости к массе тела:

$$c = C/m,$$

где  $c$  — удельная теплоемкость тела, Дж/(кг·К);  $m$  — масса тела, кг.

## 2.4. Теплоустойчивость

**Теплоустойчивость** — способность материалов сохранять свои основные свойства при воздействии положительных (температуростойкость, температуроустойчивость, теплостойкость) или отрицательных (хрупкость, морозостойкость) температур.

**Температуростойкость** (предельная положительная температура применения) — способность материала сохранять свои свойства (структуру, прочность, теплопроводность и т. д.) при повышенной температуре. Температуростойкость различных теплоизоляционных материалов различна. Так, для пенопластов температуростойкость составляет 60—150 °С, а для диатомитовых изделий — 900 °С.

Способ определения температуростойкости теплоизоляционных материалов зависит от их формы и структуры и устанавливается в каждом случае соответствующими ГОСТами или ТУ. Так, температуростойкость минеральной ваты (рыхлого волокнистого материала) определяют специальным прибором, представляющим собой цилиндр с крышкой в виде поршня заданной массы.

Перед началом испытания линейкой измеряют высоту расположения поршня. Затем цилиндр помещают в печь и нагревают, постепенно повышая температуру. В процессе испытания определяют температуру, при которой начинается перемещение поршня вниз. Этот момент соответствует началу разрушения волокон, а определенная температура характеризует их температуростойкость. Предельная температура применения теплоизоляционных материалов приведена в ГОСТах или ТУ на материалы.

**Температуроустойчивость** гидроизоляционных рулонных материалов (ГОСТ 2678—94) характеризуется максимальной температурой, при которой отсутствует смещение кровного слоя или вздутие. Температуроустойчивость определяют путем осмотра образцов после выдержки их в сушильном шкафу в течение двух часов при заданной температуре. Материалы, применяемые для гидроизоляционных конструкций, должны не терять свои свойства (размягчаться, расслаиваться) при повышенных температурах или не быть хрупкими при отрицательных температурах. Так, температуроустойчивость должна быть не ниже 40 °С (для гидроизоляционных конструкций), а для надземных конструкций и кровли — не ниже 60—70 °С.

**Теплостойкость** — способность теплоизоляционных материалов выдерживать без изменения структуры и разрушения периодические колебания температуры. Теплостойкость измеряется числом теплосмен, т. е. числом резких изменений воздействующей на ма-

териал температуры, которая, как правило, бывает ниже температуры применения. Например, предельная температура применения минеральной ваты 700 °С, теплостойкость же ее значительно ниже и в зависимости от числа теплосмен может понижаться до 200 °С.

При резком колебании температур материал разрушается за счет возникающих в нем вследствие быстрого нагревания и охлаждения внутренних напряжений и, следовательно, неравномерного нагревания материала по всей его массе.

**Морозостойкость** — способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения. Вода, находящаяся в порах материала, при замерзании увеличивается в объеме, и образующийся лед давит на стенки пор материала. При этом в материале возникают большие внутренние напряжения, которые постепенно разрушают его. Морозостойкость определяют на образцах-кубиках, вырезанных из жестких материалов. Образцы погружают в воду, выдерживают до полного насыщения, а затем подвергают попеременному замораживанию при температуре –20 °С в морозильной камере в течение шести часов и оттаиванию при комнатной температуре в течение пяти часов. Число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое должен выдержать материал без разрушения, характеризует его морозостойкость. По морозостойкости материалы подразделяют на следующие марки: Мрз 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 и более.

Гидроизоляционные материалы проверяют также на атмосферостойкость.

**Атмосферостойкость** материалов — способность гидроизоляционных материалов выдерживать колебания температуры окружающей среды от минусовой до плюсовой и наоборот. Эту величину измеряют коэффициентом атмосферостойкости  $K_a$ , соответствующим 500 циклам колебаний температуры. Этот коэффициент не должен быть менее 0,9 для надземных и 0,7—0,5 для подземных и гидротехнических сооружений.

## 2.5. Влажность и водопоглощение

Тепло- и гидроизоляционные материалы не бывают абсолютно сухими, так как впитывают влагу из окружающего воздуха (сорбционная влажность) или при непосредственном соприкосновении с ней (за счет водопоглощения). С увлажнением теплоизоляционных материалов резко возрастает их теплопроводность, а следовательно, ухудшаются теплозащитные свойства этих материалов и конструкций.

**Влажность** (ГОСТ 17177—94) — содержание влаги в материале. Влажность  $W$  (%) материала вычисляют по формуле

$$W = [(m - m_i) / m_i] 100,$$

где  $m$  — масса материала в естественном состоянии (влажного), г;  $m_i$  — масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

Сорбционное увлажнение теплоизоляционного материала зависит от влажности и температуры окружающей воздушной среды, а также от химического состава материала и его структуры. Сорбционное увлажнение определяют на пробе, сначала высушенной до постоянной массы, а затем помещенной над водой, налитой в эксикатор.

$$W_{\text{сорб}} = [(m_1 - m_2) / (m_2 - m_3)] 100,$$

где  $m_1$  — масса бюкса с пробой после выдерживания над водой, г;  $m_2$  — масса сухого бюкса с пробой, высушенной до постоянной массы, г;  $m_3$  — масса сухого бюкса, г.

**Водопоглощение** — способность материала впитывать и удерживать в своих порах влагу при непосредственном соприкосновении с водой (например, при погружении). Водопоглощение теплоизоляционных материалов характеризуется количеством воды, которое поглощает сухой материал при выдерживании в воде, отнесенным к массе сухого материала. Водопоглощение  $W_{\text{п}}$  (%) вычисляют по формуле

$$W_{\text{п}} = [(m_2 - m_1) / m_1] 100,$$

где  $m_1$  — масса материала в сухом состоянии, г;  $m_2$  — масса материала в насыщенном водой состоянии, г.

## 2.6. Паропроницаемость, водонепроницаемость, водоустойчивость

**Паропроницаемость** — способность материалов пропускать водяные пары, содержащиеся в воздухе, под действием разности их парциальных давлений на противоположных поверхностях слоя материала.

**Парциальное давление** — часть общего давления составляющих парогазовой смеси. Парциальное давление водяного пара равно давлению, которое он оказывал бы, занимая весь объем смеси и находясь при температуре смеси.

Парциальное давление водяных паров с повышением температуры возрастает. Таким образом, водяные пары стремятся попасть в область меньшего давления, т. е. на сторону слоя материала с меньшей температурой. Этим объясняется увлажнение изоляции, при-

меняемой для поверхностей с отрицательными температурами. Влага, проникая в слой изоляции с теплой стороны, увлажняет изоляцию, а при температуре ниже нуля замерзает. Это вызывает ухудшение свойств изоляции и ее разрушение.

Паропроницаемость характеризуется коэффициентом паропроницаемости, который определяется количеством водяных паров в мг, проходящих через слой материала площадью  $1 \text{ м}^2$ , толщиной  $1 \text{ м}$  в течение  $1 \text{ ч}$  при разности давлений водяного пара на противоположных поверхностях слоя  $133,3 \text{ Па}$  ( $1 \text{ мм рт. ст.}$ ). Размерность этого коэффициента —  $\text{мг}/(\text{Па} \cdot \text{м} \cdot \text{ч})$ .

Как было сказано выше, при устройстве теплоизоляционной конструкции важно защитить теплоизоляционный материал от увлажнения. В этой связи важно знать такие свойства покрытия тепловой изоляции, как водонепроницаемость и водоустойчивость. Ряд теплоизоляционных материалов также обладают этими качествами.

**Водонепроницаемость** — способность покрытий тепловой изоляции либо самого теплоизоляционного материала не пропускать воду под воздействием гидростатического давления. Водонепроницаемость (ГОСТ 2678—94) характеризуется временем, в течение которого образец не пропускает воду при постоянном гидростатическом давлении, или гидростатическим давлением, выдерживаемым образцом в течение определенного промежутка времени. Гидростатическое давление (в м или мм) указывается в нормативно-техническом документе на испытуемый материал или конструкцию.

**Водоустойчивость** — важнейшее свойство покрытий тепловой изоляции не терять свои свойства в результате поглощения воды. Так, при воздействии воды некоторые мастичные материалы набухают и разрушаются, листовые материалы — отслаиваются либо расслаиваются. Водоустойчивость (набухание), измеряемая в процентах по объему, не должна превышать для гидротехнических сооружений  $0,5 \%$ , для кровли —  $1,5 \%$ .

## 2.7. Химическая и биологическая стойкость

Теплоизоляционные и кровельные материалы могут разрушаться под воздействием химических и биологических факторов.

**Химическая стойкость** — способность материалов противостоять разрушающему действию щелочей, кислот, растворенных в воде солей и газов, бензинов, масел и др. Многие теплоизоляционные материалы не обладают этим свойством. Например, пенополистирол стоек к воде, большинству кислот, щелочей и спирту, но растворим в бензине, бензоле, минеральных маслах и эфире. Химическую стойкость теплоизоляционных материалов в конструкции можно

увеличить, установив защитное покрытие из штукатурки, пленки, различных листовых материалов, труб и т. д.

Покровные материалы должны быть кислотостойки при рН не ниже 2,0 для надземных сооружений и 5,5—6,0 — для гидротехнических и кровли, щелочестойки при рН не более 12 в зависимости от назначения материала. Сульфатостойкость и магниезальная стойкость определяются допуском количеством солей (мг), растворенных в литре воды, которое не должно превышать определенных величин, устанавливаемых для материалов в зависимости от вида изолируемого сооружения.

**Биологическая стойкость** — свойство материалов и изделий длительно сопротивляться разрушающему действию грибков и бактерий.

Органические теплоизоляционные материалы или неорганические на органических связках под действием температурно-влажностных факторов могут разрушаться вследствие развития в них микроорганизмов, вызывающих гниение и разрушение в процессе эксплуатации. Так, в Средней Азии материалы, содержащие битум, разрушаются под действием микроорганизмов, которые для своего развития поглощают органические составляющие битума. Торфяные теплоизоляционные плиты при повышенных температуре и влажности разрушаются под действием грибков, а минераловатные плиты на крахмальной связке в условиях увлажнения покрываются грибковой плесенью.

Чтобы повысить биологическую стойкость материалов, в них вводят специальные химические вещества — антисептики. В процессе транспортирования, хранения, монтажа материалы должны быть защищены от увлажнения.

## 2.8. Прочность, сжимаемость, упругость, гибкость и уплотнение

К механическим свойствам жестких теплоизоляционных материалов относят прочность (на изгиб, сжатие, растяжение, трещиноустойчивость), а к свойствам мягких и рыхлых волокнистых теплоизоляционных материалов — сжимаемость под воздействием нагрузок, упругость и гибкость.

**Прочность** — способность материалов сопротивляться разрушению при действии внешних сил, вызывающих деформации и внутренние напряжения в материале. Прочность характеризуется пределом прочности, т. е. наибольшим напряжением в материале, при котором происходит его разрушение.

Прочность теплоизоляционных материалов зависит от структуры, прочности его твердой составляющей (остова) и пористости. Жесткий материал с мелкими порами более прочен, чем материал с крупными неравномерными порами.

**Предел прочности при изгибе**  $R_{изг}$  (ГОСТ 17177—94) определяют на образцах в форме прямоугольного параллелепипеда (балочки) сечением 40 × 40 мм, длиной 200 мм и вычисляют по формуле

$$R_{изг} = 3Pl/(2bh^2),$$

где  $P$  — разрушающая нагрузка, Н;  $l$  — расстояние между осями опор испытуемого образца, см;  $b$  — ширина образца, см;  $h$  — высота образца, см.

**Предел прочности при сжатии**  $R_{сж}$  (ГОСТ 17177—94) определяют на образцах-кубах размером ребра 100 мм или двух образцах в виде прямоугольного параллелепипеда высотой 50 мм, которые складывают в виде куба, и вычисляют по формуле

$$R_{сж} = P/(lb),$$

где  $P$  — разрушающая нагрузка, Н;  $l$  — длина образца, см;  $b$  — ширина образца, см.

**Предел прочности при растяжении**  $R_{раст}$  (ГОСТ 17177—94) определяют на образцах, вырезаемых из испытуемого изделия или материала, в форме параллелепипеда длиной 280 мм, шириной 70 мм и толщиной, равной толщине изделия (материала), по формуле

$$R_{раст} = P/(bh),$$

где  $P$  — разрушающая нагрузка, Н;  $b$  — ширина образца, см;  $h$  — толщина образца, см.

Для волокнистых мягких (минераловатные и стекловолокнистые изделия) или волокнистых рыхлых (минеральная или стеклянная вата, асбест) материалов прочность не определяют, так как они не способны воспринимать механические нагрузки без уплотнения. Конструкции из таких материалов должны содержать специальные устройства (разгружающие, опорные), предохраняющие их от уплотнения в процессе эксплуатации. Такие материалы вместо прочностных показателей характеризуются сжимаемостью и упругостью.

**Сжимаемость** (остаточная деформация сжатия) — способность материала под действием внешней нагрузки изменять свой объем и после прекращения действия нагрузки восстанавливать его. Сжимаемость (ГОСТ 17177—94) определяют на образцах в форме квадрата (в плане) 100 × 100 мм и толщиной, равной толщине изделия. Испытывают образцы на специальном приборе (рис. 2.6).

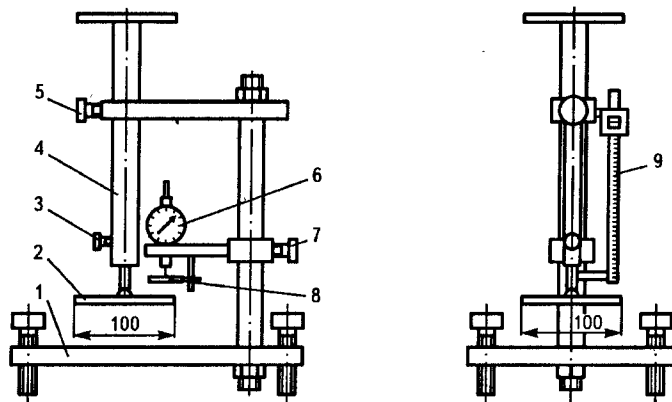


Рис. 2.6. Прибор для определения сжимаемости и упругости образцов: 1 — плита; 2, 8 — пластины; 3, 5, 7 — зажимные винты; 4 — движущаяся часть прибора; 6 — индикатор; 9 — измерительная линейка

Сжимаемость  $h$  (%) вычисляют по формуле

$$h = [(H_2 - H_1)/H_0]100,$$

где  $H_1$  — показания индикатора прибора под нагрузкой 0,0005 МПа, соответствующей весу пластины 2, мм;  $H_2$  — показания под нагрузкой 0,002 МПа, соответствующей весу движущейся части прибора, мм;  $H_0$  — толщина образца под удельной нагрузкой 0,0005 МПа, мм.

**Упругость** — свойство материала не полностью восстанавливать первоначальную толщину. Упругость  $h_e$  (ГОСТ 17177—94) определяют на том же приборе, что и сжимаемость (см. рис. 2.6), и вычисляют по формуле (%)

$$h_e = [1 - (H_3 - H_1)/H_0]100,$$

где  $H_1$  и  $H_0$  — те же показатели, что и при определении сжимаемости, мм;  $H_3$  — показание индикатора прибора при повторном нагружении под нагрузкой 0,002 МПа, мм.

**Гибкость** — способность материала сохранять целостность при его изгибании по цилиндрической поверхности. Гибкость изделий (ГОСТ 17177—94) определяют путем изгибания образца шириной 100 мм и толщиной, равной толщине изделия, по поверхности валиков различных диаметров (15, 30, 106, 217 мм). Длина образца зависит от диаметра валика, на котором испытывают материал. Гибкость образца оценивают по наименьшему диаметру валика, на котором при изгибании образца не будут обнаружены разрывы и расслоения его поверхности.

**Уплотнение** волокнистых материалов, происходящее при их хранении, транспортировании, монтаже и эксплуатации, вызывает уменьшение их первоначального объема и, следовательно, уве-

личение их средней плотности, так как одно и то же количество материала после уплотнения содержится в меньшем объеме.

Уплотнение материалов характеризуется *коэффициентом уплотнения*  $K_y$ , который равен отношению объема материала до уплотнения  $V_1$  к объему материала после его уплотнения  $V_2$  или соответственно отношению средней плотности материала после уплотнения  $\rho_{m1}$  к средней плотности до уплотнения  $\rho_{m2}$ :

$$K_y = V_1/V_2 = \rho_{m1}/\rho_{m2}.$$

Учитывая, что с увеличением средней плотности повышается теплопроводность материала, а следовательно, ухудшаются его теплозащитные свойства, уплотняющиеся материалы следует хранить и транспортировать в условиях, предохраняющих их от уплотнения.

Материалы уплотняются также при монтаже. Например, если прямоугольные изделия из волокнистых материалов в виде плит или матов укладывают на трубопроводы или криволинейные поверхности, то их объем уменьшается; соответственно, увеличивается средняя плотность за счет изменения геометрической формы материала при укладке в конструкцию (объем полого цилиндра меньше объема параллелепипеда, из которого он получен). Кроме того, волокнистые материалы уплотняют специально для уменьшения их теплопроводности при применении для изоляции объектов с высокой температурой.

**Трещиностойкость** гидроизоляционного покрытия характеризуется допусаемым размером трещин, который не должен превышать для монолитных конструкций в зависимости от вида сооружений 1—5 мм (подземные и надземные соответственно).

## 2.9. Линейная температурная усадка, средний диаметр волокна и содержание органических веществ

**Линейной температурной усадкой** называют уменьшение в размерах некоторых теплоизоляционных материалов при нагревании в процессе эксплуатации (например, известково-кремнеземистые, перлитцементные и другие материалы). Усадку  $\alpha$  (%) вычисляют по формуле (ГОСТ 17177—94)

$$\alpha = [(I_1 - I_2)/I_1]100,$$

где  $I_1$  — линейный размер изделия до нагрева образца, мм;  $I_2$  — линейный размер изделия после нагрева образца до температуры эксплуатации и охлаждения до температуры 22 °С, мм.

Усадка материала, которая может достигать нескольких процентов, нормируется ГОСТами или ТУ.

Для минеральной и стеклянной ваты дополнительно определяют средний диаметр волокон и содержание органических веществ (для изделий на связующих).

**Средний диаметр волокон** (ГОСТ 17177—94) в мкм определяют путем измерения с помощью бинокулярного микроскопа БМ-51-2 либо бинокулярной лупы БЛ-2.

**Содержание органических веществ** (ГОСТ 17177—94) определяют путем прокаливании пробы материала при температуре 600 °С в течение двух часов.

**Содержание органических веществ  $Z_0$  (%)** вычисляют по формуле

$$Z_0 = [(m_1 - m_2)/(m_2 - m_3)]100,$$

где  $m_1$  — масса предварительно прокаленного тигля с пробой, высушенной до постоянной массы, г;  $m_2$  — масса тигля с пробой после прокаливании, г;  $m_3$  — масса прокаленного тигля, г.

## 2.10. Огнестойкость

**Огнестойкость** — способность материалов выдерживать без разрушения воздействие высоких температур (огня). Теплоизоляционные материалы по горючести (способности вещества или материала к горению) подразделяют на группы (ГОСТ 30244—94):

негорючие (несгораемые) — материалы, не способные к горению в воздухе;

трудногорючие (трудносгораемые) — материалы, способные возгораться на воздухе от источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;

горючие (сгораемые) — материалы, способные самовозгораться, а также возгораться от источников зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

Горючие материалы могут быть легко- и трудновоспламеняющимися.

В зависимости от группы **горючесть** определяют различными методами.

Для **негорючих материалов** (СТ СЭВ 382—76) группу горючести определяют методом огневых испытаний, при которых материал помещают в электропечь трубчатого типа и выдерживают его при температуре 800—850 °С в течение 20 минут. Материал относится к группе негорючих, если средняя потеря массы пяти испытуемых образцов не превысит 50 % от начальной (до испытания) и устойчивое их воспламенение не превышает 10 с.

Для **трудногорючих материалов** (СТ СЭВ 2437—80) горючесть определяют, помещая образцы материала в вертикальную шахтную печь и воздействуя на них пламенем газовой горелки определенной мощности в течение 10 минут.

После испытания подсчитывают степень повреждения образца по длине  $S_L$  (%)

$$S_L = [(1000 - L_r)/1000] 100$$

и степень повреждения образца по массе  $S_m$

$$S_m = [(m_0 - m_r)/m_0]100,$$

где  $L_r$  — остаточная длина образца после испытания, см;  $m_0$  и  $m_r$  — масса образца соответственно до и после испытания, г.

Если степень повреждения по длине не превышает 85 %, а степень повреждения по массе 80 %, материал относят к группе трудногорючих.

Для **горючих материалов** группу горючести определяют методом «огневой трубы» (ГОСТ 12.1.044—89). При этом образец помещают в металлическую вертикальную трубу, поджигают его пламенем газовой горелки и фиксируют время самостоятельного горения (тления). Определяют также потерю массы образца  $M$  при горении (%) по формуле

$$M = [(m_1 - m_2)/m_1]100,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — масса образца соответственно до и после испытания, г.

Материал относится к горючим, если:

самостоятельное пламенное горение и тление продолжались более 60 с и потеря массы более чем одного образца (из шести) превысила 20 %;

самостоятельное пламенное горение продолжалось менее 60 с, но пламя распространилось по всей поверхности образца и потеря массы более чем у одного образца свыше 90 %.

## 2.11. Звукопоглощение и звукоизоляция

Для строительных материалов, используемых в ограждающих конструкциях, такие акустические свойства, как звукопоглощение и звукоизоляция, являются важнейшими.

**Звукопоглощение** — степень поглощения звука материалом. **Звукоизоляция** — ослабление звука при его проникновении через ограждающие конструкции.



**Шум** — всякого рода звуки, мешающие нормальному восприятию полезных звуков или нарушающие тишину, а также звуки, оказывающие вредное воздействие на организм человека. Единицей измерения уровня шума служит децибел (дБ).

Для снижения уровня различных видов шума применяют акустические материалы, которые подразделяются на звукопоглощающие и звукоизоляционные. *Звукопоглощающие* материалы и конструкции предназначены для снижения уровня шума в помещении за счет поглощения падающей на них звуковой энергии, т. е. в основном для борьбы с воздушным шумом. *Звукоизоляционные* материалы и конструкции служат в основном для ослабления шума, передающегося через ограждающие конструкции зданий из одного помещения в другое, т. е. для ослабления ударного шума и шума от вибраций. Чем больше пористость, тем больше звукопоглощение материала. Материалы с открытыми сообщающимися между собой порами лучше поглощают звук, чем мелкопористые с замкнутыми порами. Поэтому для звукопоглощения используют перфорированные материалы со специально предусмотренными отверстиями.

К звукопоглощающим материалам относятся материалы с волокнистой (жесткие минераловатные и стекловолокнистые плиты) и ячеистой (ячеистый бетон, пеностекло) структурой, а также монолитные изделия с легкими заполнителями (акустические бетоны и растворы из вспученного перлита, вермикулита). В качестве звукоизоляционных прокладочных материалов применяют пористо-губчатые и волокнистые материалы. К звукоизоляционным материалам относятся минераловатные и стекловолокнистые маты и плиты, древесно-волоконные, пенополиуретановые, поливинилхлоридные плиты, пористая резина, различные мягкие рулонные покрытия полов в виде теплого линолеума, ворсовые ковры на подоснове из губчатой резины и т. п.

## **2.12. Экологическая и технологическая безопасность теплоизоляционных материалов и конструкций**

В зависимости от состава веществ, из которых выполнены теплоизоляционные материалы, они в определенных условиях могут воздействовать на изолируемые поверхности, окружающую среду, организм человека или животного. В большей степени это относится к органическим утеплителям. В ряде случаев учитывают вредность веществ, которые могут выделяться при пожаре либо увлажнении.

Теплоизоляционные материалы при увлажнении или высокой температуре могут вызвать коррозию (разрушение) изолируемой

металлической поверхности. Коррозия также может возникнуть при применении увлажненной минеральной ваты, полученной из шлаков с высоким содержанием серы, за счет выделения из нее сернистого ангидрида, который при соединении с водой дает слабый раствор серной кислоты. Такую минеральную вату или изделия из нее нельзя применять для конструкций, подвергающихся увлажнению.

Теплоизоляционные материалы, содержащие фенол, могут воздействовать на окружающую среду путем выделения запахов при эксплуатации. Материалы, выделяющие запах, не применяют в жилых помещениях, пищевых холодильниках и т. д. При нанесении изоляции, выделяющей вредные вещества, работу выполняют в респираторах или специальных масках.

Минераловатные и стекловолокнистые материалы пылят при изготовлении и монтаже. Для снижения пыления материалов к ним в процессе изготовления добавляют специальные присадки: минеральное масло или эмульсол (при изготовлении минеральной ваты и изделий из нее), парафиновую эмульсию (при изготовлении стекляного волокна или изделий из него).

Гигиенические характеристики вредных веществ в воздухе рабочей зоны (допускаемая предельная концентрация в воздухе — ПДК) при производстве теплоизоляционных работ приведены в ГОСТ 12.3.038—85.

## Глава 3. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

### 3.1. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия

К неорганическим теплоизоляционным материалам следовало бы отнести только те из них, в составе которых нет органических веществ. Однако как за рубежом, так и в России принято относить к этому классу материалы, в большей степени изготовленные из неорганических материалов. К ним традиционно относят минеральную вату и изделия из нее, асбестовые изделия, утеплители на основе перлита и вермикулита, диатомита, трепела, пеностекло, пенобетоны и ячеистые бетоны и некоторые другие. Описание основных из них, имеющих промышленное производство, дано в этой главе.

Ряд материалов представляют собой композиции из неорганических материалов. К ним относятся перлитцементные изделия, в состав которых входят перлит, цемент и асбест, перлитодиатомовые изделия (перлит и диатомит), вулканитовые (диатомит, асбест, известь). Для удобства предоставления сведений о них такие материалы отнесены к материалам по наиболее объемному компоненту либо описаны отдельно.

#### 3.1.1. Минеральная вата и изделия из нее

Среди довольно широкой номенклатуры теплоизоляционных материалов первое место по объему производства в России и за рубежом занимают изделия на основе минерального волокна. Они негорючи, не подвержены воздействиям грызунов и микроорганизмов, морозостойки, для их производства не требуется дефицитное сырье.

Теплоизоляционные материалы на основе минерального волокна позволяют создать различные варианты легких конструкций. Так, применение в производственных зданиях панельных ограждений с утеплителем из минераловатных плит позволяет по сравнению со зданиями из типовых железобетонных конструкций снизить вес основных конструктивных элементов в 4—5 раз, трудоемкость монтажа здания — в 1,8—2 раза, значительно сократить сроки строительства.

Использование в строительстве облегченных конструкций, утепленных теплоизоляционными минераловатными материалами, позволяет улучшить качество и повысить эффективность строительства.

Некоторые технические решения ограждающих конструкций, трубопроводов и оборудования приведены на рис. 5.1 и в гл. 4.

Для производства минераловатных изделий применяют сравнительно небольшое количество исходных сырьевых материалов. Однако имеющиеся значительные технологические разработки позволяют получать теплоизоляционные изделия довольно широкой номенклатуры. Свойства изделий можно регулировать, изменяя технологию обработки, состав материала и характер пористости. Это позволяет выпускать разнообразные изделия с заранее заданными свойствами применительно к различным условиям эксплуатации.

#### **Физические, физико-химические и химические процессы, происходящие при промышленном производстве минеральной ваты**

Минеральная вата состоит из волокон, находящихся в стекловидном состоянии, неволоконистых включений в виде капель затвердевшего расплава и микроскопических обломков волокон.

Минеральную вату получают из силикатных расплавов. В шихте в процессе получения расплава (в зависимости от составляющих шихту сырьевых компонентов) при нагреве происходят следующие процессы:

- 1) сушка с испарением адсорбционной влаги (физический процесс);
- 2) дегидратация с потерей кристаллизационной и конституционной влаги (химическая реакция в сочетании с физическими изменениями — испарением);
- 3) аморфизация глинистых пород (физико-химический процесс);
- 4) разложение молекул доломита и диссоциация карбонатов кальция и магния (химический процесс);
- 5) разложение сульфатов (химический процесс);
- 6) восстановление и окисление железистых, марганцовистых и других окислов в зависимости от характера атмосферы в печи (физико-химический процесс);
- 7) образование новых по сравнению с первичными соединений в результате реакции в твердой фазе или воздействия жидкой фазы на твердую (химический процесс), а также полиморфного перехода из одной модификации в другую (физический процесс);
- 8) плавление в случае применения однокомпонентной шихты (физический процесс) или плавление легкоплавких кусков с раство-

рением в полученном расплаве тугоплавких кусков (физико-химический процесс);

9) гомогенизация полученного расплава с частичным осветлением (физический процесс). Особенности каждого из этих процессов детально изложены в работах В.А. Китайцева, К.Э. Горяйнова и др. [21, 32].

В зависимости от вида применяемого сырья минеральную вату иногда называют каменной, шлаковой, базальтовой и др.

Технологические особенности процесса плавления шихты заключаются в том, что при плавлении в вагранке шихтовый «столб», включая сырьевые и коксовые «калоши», имеет достаточную газопроницаемость и обеспечивает быстрый нагрев шихты и получение расплава необходимой вязкости: расплав должен течь как в холодной «калоше», так и из летки печи. Обычно расплавы, вытекающие из летки вагранки, имеют рабочую вязкость 2—15 П. При подборе состава шихты можно исходить из рабочей вязкости расплава 10 П при 1400 °С.

В отличие от вагранок из ванн печей расплав вытекает при рабочей вязкости 40—100 П, а иногда и при 2,5 Па·с/м<sup>2</sup> (25 П). При вязкости свыше 100 П расплав из фильера течет не сплошной струей, что недопустимо.

В шахтно-ванной печи плавят кусковую шихту, например базальт, содержащий 57 % (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и около 5 % (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) при температуре плавления 1350—1380 °С.

В дуговых электрических печах получают расплавы, имеющие высокую температуру верхнего предела кристаллизации (выше 1750 °С), в частности идущие на изготовление высокотемпературной каолиновой и керамической ваты, содержащей 95—98 % (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), причем соотношение между SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 1:1 или 1:0,8, температура применения ее — 1100—1200 °С, а температура верхнего предела кристаллизации — более 1680 °С.

Большое значение имеет выбор таких плавильного агрегата, режима плавки и вида сырья, при которых получалось бы наибольшее количество расплава при затрате 1 кг условного топлива теплотворностью 7000 ккал/ч. По опытным данным, в вагранках получают от 3,3 до 6, в ванн печах — от 3,15 до 3,6, в электродуговой печи — до 12,7 и в газовом плавильном агрегате — от 2,29 до 2,84 кг расплава при затрате 1 кг условного топлива. Следовательно, наиболее выгодными по тепловым показателям являются электрические дуговые печи, коксогазовые и коксовые вагранки, причем последние должны работать на горячем (500 °С) дутье и иметь многоконтурную систему автоматического управления плавлением.

При получении каолиновой ваты температура тугоплавкого алюмосиликатного расплава после подогрева в форкамере при начале

формирования составляет 1930—2000 °С, а температура затвердевания в стекло — 1830 °С.

### **Методы производства искусственных волокон и минеральной ваты из расплавов**

На процесс получения волокон и ваты, кроме химического состава расплава, определяющего вязкость и поверхностное натяжение при температурах переработки его в вату и склонность к кристаллизации, важную роль играет способ переработки. Последний значительно влияет на длину и диаметр волокон и на содержание неволоконистых включений в вате.

Переработку расплава осуществляют следующими основными способами раздува: центробежным, комбинированным и способом вытяжения. За последние годы в производстве минеральной ваты получили распространение:

1) комбинированный центробежно-дутьевой (ЦД) способ волокнообразования, которым вырабатывается 90,4 % минеральной ваты объемной массой 96 кг/м<sup>3</sup>, со средним диаметром волокон 7,5 мкм, при количестве отходов во время волокнообразования 25—30 % и содержании королек размером свыше 0,25 мм в среднем 19 %;

2) центробежно-валковый (ЦВ) способ, которым изготавливают 8,4 % минеральной ваты средней объемной массой до 90 кг/м<sup>3</sup>, со средним диаметром волокон до 7 мкм, количеством отходов при волокнообразовании 30—50 % и содержанием королек размером свыше 0,25 мм в среднем 16,4 %;

3) вертикально-фильно-дутьевой (ВФД), которым вырабатывается около 0,6 % ваты объемной массой 72 кг/м<sup>3</sup>, со средним диаметром волокон 7,8 мкм и содержанием королек размером свыше 0,5 мм до 2,2 %, отходов при волокнообразовании не имеется;

4) горизонтально-пародутьевой (ГПД) способ — наиболее устаревший из известных. Таким способом вырабатывается до 0,6 % минеральной ваты средней объемной массой 109 кг/м<sup>3</sup>, со средним диаметром волокна 7,5 мкм и 19,4 % королек размером выше 0,25 мм.

Кратко рассмотрим некоторые особенности названных выше методов производства минеральных волокон.

**Дутьевой горизонтальный метод** заключается в том, что пар или сжатый воздух, выходя с большой скоростью из дутьевой головки, воздействует на непрерывно текущую струю расплава и перерабатывает его в вату. Избыточное давление пара не менее 6·10<sup>5</sup> Па (6 кг/см<sup>2</sup>), и расход его 1—1,4 т на 1 т минеральной ваты. Производительность по выпуску ваты — до 2000 кг/ч при выходе из 1 т

расплава 850—900 кг ваты объемной массой 160—260 кг/м<sup>3</sup>, состоящей из волокон средним диаметром 5—7 мкм, длиной 6—10 мм и содержащих до 64—73 % неволоконистых включений.

Энергосмеситель более эффективно используется в эжекционных головках, чем в дутьевых, поскольку в последних большая часть расплава выходит из активной зоны действия пара или воздуха в зону с меньшими скоростями. В эжекционных головках полностью исключается выход какой-либо части расплава из зоны более активного действия потока энергоносителя.

**Дутьевой вертикальный метод** с применением пара (ВРП) или воздуха (ВРВ) позволяет перерабатывать до 500—600 кг расплава в час. Получается вата с очень незначительным содержанием неволоконистых включений объемной массой 40—90 кг/м<sup>3</sup>, средним диаметром волокон 7 мкм и длиной 9—27 мм. Расход пара 2,5—9 т или воздуха 1300—2500 м<sup>3</sup> на 1 т ваты.

**Центробежный метод с применением горизонтальных дисков** заключается в том, что струя расплава попадает на раскаленный огнеупорный или жаростойкий стальной диск. Образующиеся волокна подхватываются струей воздуха и присасываются к сетке конвейера, корольки же падают, не достигая его. Из-за низкой производительности (80—400 кг/ч) широкого распространения этот метод не получил.

**Центробежно-валковый метод** заключается в том, что струя расплава попадает на быстро вращающийся водоохлаждаемый валок, посредством которого она расщепляется и в виде пучка струек и крупных капель передается на второй валок, вращающийся навстречу первому. Избыточная часть расплава может перебрасываться центробежными силами на следующие, третий и четвертый, валки. Получаемая вата воздухом притягивается к сетке транспортера. Производительность одного узла до 2,5 т/ч, удельный расход электроэнергии на 1 т минеральной ваты — 10 кВт·ч, а включая и отдув ваты, — 60 кВт·ч.

**Центробежно-валковый способ с центральной раздаточной чашей** состоит в том, что расплав, непрерывно вытекающий из вагранки, попадает в центральную чашу, вращающуюся со скоростью не менее 1000 об/мин, после чего центробежной силой в расщепленном состоянии сбрасывается к периферии, переливается через край, срывается с кромок чаши и встречается с быстро вращающимися рабочими валками диаметром 300—500 мм. Затем под действием центробежной силы расплав отрывается и, охлаждаясь в паровоздушном потоке, поступающем из дутьевого устройства, окончательно превращается в минеральную вату. Производительность установки более 2 т/ч, выход ваты около 80 %, при 32—36 %-ном содержании волокна объемная масса ваты составляет 80—110 кг/м<sup>3</sup>, средний

диаметр волокон 4,7—6,2 мкм; ориентировочный расход пара 1,3—1,5 т/ч.

**Центробежно-дутьевой метод** (разработан французской фирмой «Стиллит Франсез») заключается в том, что расплав из вагранки поступает в обогреваемый копильник, где из него выделяется железо, удаляемое периодически через специальное отверстие. Расплав же по лотку поступает в раздаточную сварную водоохлаждаемую чашу. Последняя в ряде случаев оборудована устройством для распыления связующего по опыту Киевского комбината «Стройиндустрия».

Этот способ получил в настоящее время наибольшее распространение на отечественных заводах. На такой установке перерабатывается за час до 2600 кг расплава, причем примерный выход ваты на 1 т расплава составляет 780 кг при содержании в минеральной вате объемной массой 80—110 кг/м<sup>3</sup> волокон средним диаметром 6,5—9 мкм и длиной 18—23 мм. На 1 т расплава расходуется пара 1,2—1,6 т или сжатого воздуха 1400 м<sup>3</sup>.

**Центробежно-фильтрный дутьевой метод (ЦФД)** в основном применяется при производстве штапельного стеклянного волокна. Позволяет получить вату низкой объемной массы, практически без потерь расплава и без наличия в нем неволоконистых включений. Фирма «Сан Габен» предложила установку, состоящую из вращающегося со скоростью 3000 об/мин полого вала, внутрь которого из очка в фидере поступает расплав. В нижней части на валу укреплен чаша, в стенке ее имеется 5000—6000 отверстий диаметром 1—2 мм, из которых вытягиваются струйки расплава в потоке нагретой до 1150 °С газовой струи, выходящей из кольцевой дутьевой головки.

### **Сырьевые материалы и шихта**

Одним из значительных преимуществ производства минеральной ваты является возможность получения ее из различного вида минерального сырья.

В качестве сырья для производства минераловатных изделий в США применяются доменные и другие шлаки; во Франции, Швеции и Югославии используются доменные шлаки с добавлением базальта и диабазы, а также горные породы с добавками; в ФРГ применяется мергель; в Финляндии — горные породы и отходы асбестоцементного производства, содержащие магнезит.

Около 70 % общего выпуска минераловатной продукции в нашей стране изготовляют на металлургических шлаках, в основном доменных (огненно-жидких и ваграночных шлаков около 8 %).

Основной недостаток металлургических шлаков (отходов металлургического производства) — непостоянство химического состава, что предопределяет необходимость введения корректирующих

добавок. Достоинство же металлургических шлаков состоит в том, что их применение в качестве основного сырья в минераловатном производстве позволяет получить большой народно-хозяйственный экономический эффект. Например, предприятия, работающие на огненно-жидких шлаках черной и цветной металлургии, получают экономию только по затратам на топливо до 20 %.

При плавлении в вагранках основным сырьем служат доменные шлаки (табл. 3.1) без какой-либо их корректировки или с различными добавками: бой красного или силикатного кирпича и керамических отходов (около 10 % к массе шлака), бой силикатного кирпича (10 %), глинистого песчаника (11 %), гранита (14 %), порфирита (5 %), диабаза (21 и 50 %), базальта (20 %), сланцевого коксика (30 %) и др. В районах переработки горючих сланцев в качестве основного сырьевого компонента шихты применяют сланцевый кокс с добавлением боя красного кирпича (45 %) или доломитового мергеля, а также горелую породу в смеси с 30 % доломитизированного известняка.

Известно применение диабаза и габбро-диабаза с известняком, доломитизированного известняка и боя красного кирпича (в соотношении 1 : 0,33 мас. ч.), порфирита с известняком (1 : 0,72), доломита или известняка с боем красного кирпича (1 : 1), известково-гравийного щебня с доломитом (1 : 0,2) и др. Химические составы горных пород, применяющихся в производстве минеральной ваты, приведены в табл. 3.2.

**Химический состав металлургических доменных шлаков, применяемых в производстве минеральной ваты**

Таблица 3.1

Содержание химических компонентов, % по массе								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	SO <sub>2</sub>	проч.	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Кусковые шлаки</b>								
35,9	23,4	1,4	38	0,7	1,4	—	0,3	59,3
38,6	17,5	0,4	38,5	3,3	—	—	—	56,1
40,1	13,65	2,65	33	7,83	—	0,41	—	53,75
41,3	10,9	1,3	42	2,3	—	1	1,3	52,2
38,3	12,6	0,91	28,1	14,4	3,8	—	2,4	50,9
37,2	12,2	—	0,7	43,1	—	—	—	49,38
32,9	15,2	1,6	72,1	9,7	—	—	7,7	48,1
37,19	10,8	1,47	37,2	12	0,67	0,5	—	48
37,5	10,2	0,8	42,3	4,7	—	1,3	—	4,7
<b>Огненно-жидкие шлаки</b>								
4,3	6,7	20,4	15	9,7	—	—	—	49,7
37	11,08	0,67	44,2	2,8	—	1,55	—	48,1
34	11	0,22	44	5,4	—	2,15	1	45

**Химический состав некоторых горных пород, применяемых в производстве минеральной ваты**

Таблица 3.2

Наименование пород	Содержание химических компонентов, % по массе							ппп, %
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	RO <sub>2</sub>	
<b>Изверженные</b>								
Гранит (щебень)	74,3	12,5	3,7	0,95	1,5	—	—	3,5
Диабаз	52,7	15,6	10,8	6,2	3,3	—	1,65	2,7
Порфириды	51,9	28,3	7,4	7,4	2,4	—	—	1,14
Базальт	51,4	12,9	0,17	10,1	5,2	5,25	—	—
Габбро	48,6	19,2	7,9	12,9	9,3	—	—	5,1
Эффузивы	44,5	14,2	7,1	8,1	4,6	0,5—0,9	1,6	4,3
<b>Метаморфические</b>								
Сланцы (темно-зеленые)	50,5	14,1	—	11,3	4	—	—	2,3
Сланцы (светло-зеленые)	47,3	17,5	—	11,35	8,3	—	—	3
<b>Осадочные</b>								
Диатомит	65,4	16,0	5	3,15	4,4	—	—	8,5
Алевролит	51,9	21,8	9,8	2	3,7	0,85	—	14,2
Глинистый песчаник	50,8	8,6	4,7	13,7	5,7	—	—	33,7
Известняк	10	0,23	0,6	53,8	0,81	—	—	43,6
Доломит	5,5	3,5	1,23	28,7	176	—	—	—

Химический состав некоторых других шихт (% по массе):

— ваграночные шлаки: 40 и 49 % SiO<sub>2</sub>; 17 и 19 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4 и 4,3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 32 и 19 % CaO; 3,6 и 4 % MgO; 0,19 и 0,24 % S;

— сланцевые горелые породы Поволжья: 38,5 и 49,4 % SiO<sub>2</sub>; 11,2 и 14,9 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3 и 4,5 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 24 и 18 % CaO; 5,5 и 3,2 % MgO и около 5 % SO<sub>3</sub>;

— сланцевые коксика Прибалтики: 14,5 и 22 % SiO<sub>2</sub>; 11 и 6 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5,1 и 6,8 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 55 и 58 % CaO; 4 и 2,9 % MgO; 1,9 и 1,2 % SO<sub>3</sub>;

— керамический бой красного кирпича: 58—67—80,5 % SiO<sub>2</sub>; 13—23—12 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4,5—4,3—3,3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,52—1,1—0,82 % CaO; 3,3—2,2—1 % MgO; 0—0,5—0 % SO<sub>3</sub>; 3,6—0 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 2,5—0,6—0,1 % ппп;

— бой силикатного кирпича: 59—83 % SiO<sub>2</sub>; 14,6—1,3 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4,4—0,3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 9,8—9,2 % CaO; 3,6—0,4 % MgO; 0,2—0,03 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

При получении расплавов в ваннах печах в качестве сырья применяются: мергель с известняком, доменный шлак с горным песком (в соотношении 1 : 0,33 или 1 : 0,18 мас. ч.); мергель с доломитом (фирма «Силлан», Германия), модуль кислотности расплавов 1,3—1,86.

Одним из основных критериев, определяющих качество минеральной ваты, является модуль кислотности, который учитывает содержание четырех основных окислов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ). С увеличением модуля в ряде случаев повышается химическая и термическая стойкость минерального волокна. В соответствии с требованиями ГОСТа модуль кислотности должен быть не менее 1,2. Основным окислом в сырье для получения минеральной ваты является  $\text{SiO}_2$ , с увеличением содержания которого резко повышается вязкость расплава и химическая стойкость волокна. Повышение содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  также увеличивает вязкость, вызывая одновременно уменьшение температурного интервала изменения вязкости расплава, и ведет к повышению химической стойкости волокна. Увеличение содержания  $\text{CaO}$ , наоборот, снижает вязкость расплава и понижает стойкость минерального волокна к воздействию температуры и различных агрессивных сред. При увеличении содержания  $\text{MgO}$  за счет снижения содержания  $\text{CaO}$  термическая стойкость волокна и его эластичность повышаются.

Увеличение содержания окислов железа ( $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  снижает температуру плавления и вязкость расплава, а в процессе формирования волокна оказывает различное действие: окислы Fe повышают поверхностное натяжение, окислы K и Na снижают его.

Диаметр волокон ваты на большинстве заводов соответствует требованиям действующего стандарта — до 8 мкм. Вата хорошего качества изготавливается на Воскресенском комбинате «Красный строитель» (она имеет наименьшую объемную массу, наименьшее количество неволокнистых включений диаметром свыше 0,25 мм (до 1,4 %)). На большинстве отечественных заводов содержание корольков диаметром более 0,25 мм составляет от 14 до 25 %, а в зарубежных странах не превышает 9 %. В Швеции, Германии и Чехии изготавливают волокно диаметром 5—7 мкм, масса минеральной ваты при этом 50—75 кг/м<sup>3</sup>, а в США, Франции и Англии — 50—120 кг/м<sup>3</sup>.

Вата из расплавов горных пород в основном кислая по своему химическому составу, более стойкая в эксплуатации. При близких значениях модуля кислотности минеральная вата, полученная на различных заводах, может иметь значительно отличающиеся прочность, водостойкость и долговечность.

#### *Связующие вещества и способы их введения в минеральную вату*

Связующие вещества скрепляют волокна между собой, фиксируют структуру и объемную массу изделия. Причем в твердых и

жестких плитах из минеральной ваты заполняющее поры связующее значительно ограничивает взаимное перемещение волокон, а в мягких и полужестких изделиях связующее скрепляет волокна преимущественно в местах их контактов, в результате чего упругость изделию сообщается за счет эластичности отвердевшего связующего, а главное — за счет упругости самих волокон.

На физико-механические свойства изделий (плотность, прочность, упругость) и их сохранность при эксплуатации (долговечность) влияет качество как минеральной ваты, так и связующего вещества после его отверждения в каркасе изделия. Все эти факторы в совокупности отражаются не только на прочностных и упругих свойствах изделий, но и на долговечности слоя теплоизоляции в ограждающей конструкции.

Удельные расходы некоторых связующих, применяемых в отечественном производстве минераловатных изделий, приведены в табл. 3.3.

**Расход связующих для изготовления  
изделий из минеральной ваты**

Таблица 3.3

Наименование изделий	Связующее	Расход в среднем на 1 м <sup>3</sup> изделия, кг	Плотность изделия, кг/м <sup>3</sup>	Содержание отвердевшего связующего, % к массе *
1. Плиты мягкие на синтетическом связующем	Фенолоспирт 50%-ный	9	86	5,25
2. Плиты полужесткие на синтетическом связующем	»	15,5	124	6,25
3. Плиты жесткие на синтетическом связующем	»	14,4	120	6
4. Плиты мягкие на битумном связующем (минвойлок)	Битум нефтяной	5,3	81	6,6
5. Плиты полужесткие на битумном связующем	»	40,3	192	21
6. Плиты жесткие на битумном связующем (минпробка)	Битум в эмульсии	54,2	267	20,4
7. Скорлупы	Фенолоспирт 50%-ный	16,7	150	5,5
8. Цилиндры	»	149	150	5

\* Фактическое содержание отвердевшего связующего может быть меньше из-за потерь его в процессе изготовления изделий.

Связующее вводится в минераловатный ковер как распылением (диспергирование) в момент образования ваты в камере волокноосаждения, так и пропитыванием слоя ваты протекающим через него водным раствором полимерных веществ с последующим отсосом части раствора при вакуумировании — способ «пропитки ковра методом пролива».

Введение связующих в минераловатный ковер должно обеспечивать равномерное распределение их в объеме изделия и исключать возможность преждевременного отверждения не в местах контактов волокон.

Из-за несовершенства отечественного промышленного оборудования при пульверизации связующего в камере волокноосаждения в ряде случаев отмечается его преждевременное отверждение (температура в камере волокноосаждения достигает 60—130 °С). Связующее в этом случае не участвует в формировании каркаса, «изделия» имеют низкую прочность.

При пропитке ковра связующим этот недостаток можно исключить, но при этом возрастают энергозатраты на сушку ковра повышенной влажности. На существующем оборудовании «мокрый» процесс (пропитка ковра связующим) позволяет получать более прочные изделия, имеющие повышенные эксплуатационные свойства, чем аналогичные изделия, связующее в которых введено пульверизацией в камере волокноосаждения.

### **Технология производства изделий из минеральной ваты**

В настоящее время в нашей стране и за рубежом освоен выпуск изделий из минеральной ваты широкой номенклатуры: плиты различной прочности, маты прошивные и на специальной пароизоляционной основе, самонесущие плиты с акустическими, отделочными и т. п. слоями, специальные изделия для тепловой изоляции и др. Повысилось качество и отечественных материалов, улучшился их внешний вид. Основой для получения всех этих материалов является минеральная вата. Физико-механические показатели изделий во многом зависят от ее качества.

**Минеральная вата** — теплоизоляционный материал, в основном состоящий из тончайших стекловидных волокон, получаемых путем распыления расплавов шихты из металлургических и топливных шлаков, горных пород или иных силикатных расплавов. В качестве сырья могут быть использованы попутные продукты различных отраслей промышленности, а также отходы промышленности строительных материалов. Наиболее распространенными видами

таких отходов являются бой глиняного и силикатного кирпича и др. Таким образом, основное исходное сырье для изготовления минеральной ваты не является дефицитным.

Качество минеральной ваты определяется главным образом содержанием неволоконистых включений, длиной и диаметром волокна.

За последние годы (табл. 3.4) объемная масса минеральной ваты снижена с 150—200 до 75—125 кг/м<sup>3</sup>, а средний диаметр волокна — с 10—12 до 8 мкм. Количество неволоконистых включений в вате уменьшено более чем в два раза (ГОСТ 4640) «Вата минеральная».

**Свойства минеральной ваты**

Таблица 3.4

Показатель	Единица измерения	Способ получения волокон			
		фильрно-дутьевой	центробежно-валковый	центробежно-дутьевой	пародутьевой
Объемная масса	кг/м <sup>3</sup>	70–75	90–100	100–110	120–125
Коэффициент теплопроводности	Вт/м · К	0,029	0,039	0,040	0,040
Средний диаметр волокна	мкм	7,5–8	7–7,5	8–8,7	1–7,2
Средняя себестоимость 1 м <sup>3</sup>	%	97,7	100	77	75

Минеральная вата применяется для изготовления теплозвукоизоляционных изделий, а также в качестве теплоизоляционного материала в строительстве и промышленности при температуре изолируемых поверхностей до +600 °С.

Технология производства минеральной ваты заключается в подготовке сырьевой смеси (измельчение горной породы, шлаков, боя красного или силикатного кирпича и др.), ее расплавлении в вагранке, ванной печи или другом плавильном агрегате и переработке расплава в нити толщиной до 8 мкм, длиной от 5 до 40 мм. Из этих нитей и образуется минеральная вата.

Производство минеральной ваты не зависит от типа плавильного агрегата, а также способа получения волокон (табл. 3.5) и включает следующие основные технологические операции:

- подготовка и загрузка сырьевых материалов в плавильный агрегат;
- плавка сырья, получение расплава в плавильном агрегате;
- переработка расплава в волокно на centrifуге или другим способом;
- осаждение минеральных волокон ваты, образование минераловатного ковра в камере волокноосаждения.



**Затраты на производство минераловатных изделий при различных способах волокнообразования (%/м<sup>3</sup>)**

Таблица 3.5

Способ волокнообразования	Минеральная вата	Плиты на синтетическом связующем				Плиты на битумном связующем		
		мягкие	полужесткие	жесткие	повышенной жесткости	мягкие	полужесткие	жесткие
Пародутьевой	20,1	—	—	—	—	54,6	—	—
Центробежно-дутьевой	20,7	28,7	44,2	45,2	78,2	18,9	36,6	93,7
Центробежно-многовалковый	27	42,7	54,9	—	—	—	—	100
Фильерно-дутьевой	—	—	—	—	—	—	—	—

Исследованиями и многолетней практикой установлено, что изоляционные слои из сырой ваты (не в виде изделий) самоуплотняются при эксплуатации и имеют недостаточную степень долговечности.

Наибольшее распространение в последние годы получило производство минераловатных теплоизоляционных изделий на основе минеральной ваты. Это:

маты, мягкие, полужесткие, жесткие и твердые плиты на синтетических связующих;

мягкие, полужесткие и жесткие плиты на битумном связующем;

полужесткие плиты на крахмальном связующем;

прошивные маты с обкладкой битуминизированной бумагой, пергамином и другими гидро- и пароизоляционными слоями.

В качестве синтетических связующих применяют фенолоспирты, карбамидные смолы, а также сложные составы на основе фенолоспиртов или карбамидных смол, пластифицированных поливинилацетатной эмульсией, латексами и др. Битумные связующие состояются на основе нефтяных битумов марок БН-III-V, БН-IV, БН-V.

При производстве прошивных матов применяют: проволочные сетки (ГОСТ 3826—82, ГОСТ 5336—80, ГОСТ 3282—74), стеклосетку ССТЭ-6 и ССТЭ-9, асбестовую ткань (ГОСТ 6102—94), мешочную бумагу (ГОСТ 2228—81), битумную упаковочную бумагу (ГОСТ 515—77) и др.

Технология изготовления изделий на синтетических и битумных связующих имеет существенные отличия. Но в общем виде и в этом и в другом случае минераловатный ковер с введенным в него связующим подвергается тепловой обработке, необходимой для закреп-

ления заданной структуры изделий и удаления избыточной влаги. Ковер разрезают на плиты заданных размеров, упаковывают и отправляют на склад, а затем потребителям.

Отличие технологического процесса изготовления изделий на синтетическом связующем от технологического процесса производства изделий на битумном связующем заключается в особенностях тепловой обработки. В первом случае процесс более сложен: между сушкой и охлаждением ковер проходит через зону отверждения, в которой происходят процессы закрепления связующего (полимеризация или поликонденсация) на минеральных волокнах.

**Прошивные и рулонированные маты**

Прошивные маты изготавливают из минеральной ваты с небольшим содержанием связующего (1—2 %), необходимым лишь для обеспыливания волокна.

Маты прошивают сплошными двусторонними швами в продольном направлении. Расстояние шва от кромок не более 5 см, между швами — 11—17 см, шаг шва — 8—12 см. Прошивают их проволокой диаметром 0,5—0,8 мм, капроновой, хлопчатобумажной нитью или бумажным шпагатом (в зависимости от вида обкладочного слоя и температуры применения матов в конструкции).

Прошивные маты изготавливают в едином потоке, непосредственно из минераловатного ковра, выходящего из камеры волокноосаждения. После прошивки их разрезают (до 5 м длиной).

**Свойства прошивных матов**

Плотность уплотненного слоя минеральной ваты в матах, кг/м<sup>3</sup>, не более 110—120—150  
 Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) 0,046—0,044—0,044  
 Температура применения до 700 °С

Маты иногда выпускают и без прошивки (минераловатные рулонные на синтетическом связующем (ТУ 36.16.22-10—89). Технологический процесс производства таких матов заканчивается после выхода из камеры тепловой обработки, после чего их рулонировать и упаковывают в крафт-бумагу, в полимерные пленки и др. Размеры матов: длина — 2, 3, 4 м; ширина — 0,5 и 1 м; толщина — 7—10 см. Маты, прошитые битуминизированной бумагой, применяются при температуре не выше +60 °С.

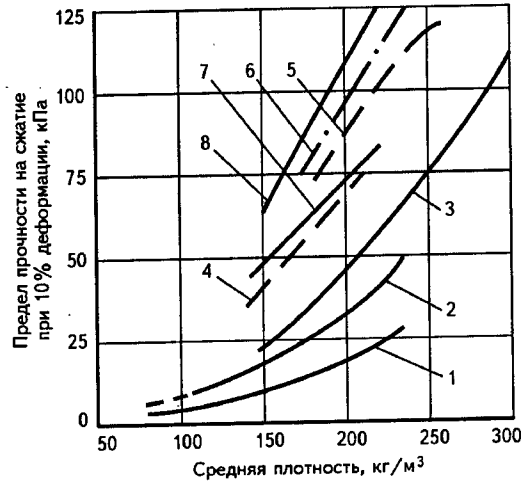
**Свойства рулонированных матов**

Плотность, кг/м<sup>3</sup>, не более 45—100  
 Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), не более 0,044  
 Температура применения от —60 до +400 °С

**Минераловатные мягкие, полужесткие, жесткие и повышенной жесткости плиты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573)**

Процесс получения плит из минеральной ваты начинается в камере волокноосаждения, где связующее «раздувают» тем или иным способом в мельчайшие частицы, которые оседают на волокнах. При производстве плит связующее в большинстве случаев наносят в камере волокноосаждения или после нее способом пропитки минераловатного ковра в пропиточных ваннах или проливом его по всей ширине струей связующего с последующим отсосом избытка связующего вакуумированием. Избыточное связующее при этом возвращается для повторного использования. Размеры и физико-механические показатели минераловатных материалов приведены в табл. 3.6.

Физико-механические и теплозащитные свойства МВИ в значительной степени зависят не только от качественных показателей сырьевых материалов, технологии получения минеральной ваты, но и от особенностей их структуры (рис. 3.1 и 3.2). Все эти факторы в конечном счете влияют на технико-экономические показатели получаемых изделий (табл. 3.7).



**Рис. 3.1.** Зависимость прочности на сжатие минераловатных плит от их структуры и средней плотности:  
1, 2 и 3 — материалы горизонтально-слоистой структуры, изготовленные на устаревшем (1) и модернизированном (2) оборудовании, а также способом горячего прессования (3); 4, 5 — материалы гофрированной структуры без упроченного (4) и с упроченным слоем (5); 6 — материалы пространственной структуры из гидромассы; 7, 8 — материалы вертикально-слоистой структуры, изготовленные способом двойной переработки из готовых плит горизонтальной слоистости (7) и непосредственно из минераловатного ковра горизонтальной слоистости и неотвержденного синтетического связующего (8)

**Физико-механические показатели минераловатных материалов**

Таблица 3.6

Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности при (298 ± 25) К, Вт/м · К	Размеры, см			Температура применения, °С
			длина	ширина	толщина	
Вата минеральная (ГОСТ 4640)	80-100	0,041-0,050	-	-	-	до 700
Маты минераловатные прошивные (ГОСТ 21880)	85-135	0,046-0,044	до 600	50; 100	4-8, 10, 12	до 700
Маты минераловатные рулонированные на синтетическом связующем (ТУ 36.16.22-10-89)	45-100	0,044	до 600	50; 100	4, 6, 8	до 400
Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573): мягкие полужесткие жесткие	75 125-175 225	0,047 0,049-0,052 0,054	100, 120	50, 60, 100	6-12 5-10 4-8	от -60 до 400 до 100
Плиты минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем (ГОСТ 22950, ТУ 5762-001-05299710-94): из гидромассы гофрированной структуры	200±25 175-200	0,052 0,051-0,053	100	50 50	4-8 5-10	до 100 до 100
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на битумном связующем (ГОСТ 10140): мягкие полужесткие жесткие	51-75 76-200 201-250	0,044-0,046 0,044-0,058 0,058-0,064	100-200 100, 150 100	50, 100 50, 100 50	5-10 5-10 4-7	от -100 до 60

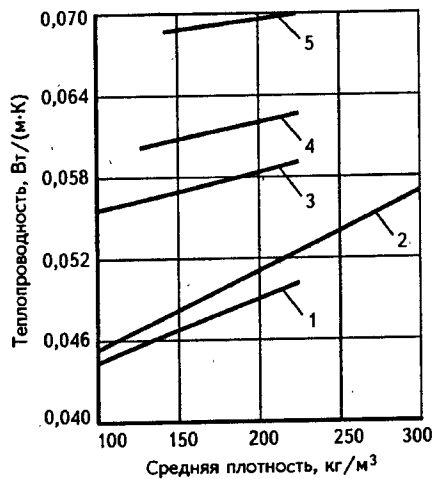


Рис. 3.2. Зависимость теплопроводности от средней плотности и особенностей структуры минераловатных материалов на синтетических связующих: 1 — материалы горизонтально-слоистой структуры; 2 — нормируемые значения для материалов горизонтально-слоистой структуры по ГОСТ 9573; 3—5 — материалы вертикальной слоистости: 3 — изготовленные по непрерывной технологии непосредственно из минеральной ваты; 4 — то же, изготовленные методом двойной переработки из готовых изделий горизонтальной слоистости при зазоре между отдельными ламелями до 1 мм; 5 — то же при зазоре 3—5 мм

### Сравнительные технико-экономические показатели МВИ различной структуры

Таблица 3.7

Показатель	Единица измерения	Горизонтально-слоистой структуры		Пространственной структуры из гидромасс	Гофрированной структуры
		конвейерного формирования	горячего прессования		
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	200—300	220—285	180—235	170—210
Прочность на сжатие при 10% деформации	кПа	18—40	60—100	60—100	60—100
Материалоемкость	%	128	151	125	108
Расход условного топлива	кг/м <sup>3</sup>	88—96	185—225	195—205	82—90
Расход фенолоспиртов	кг/м <sup>3</sup>	31—32	40—46	40—43	24—29
Коэффициент конструктивного качества	%	9—18	28—35	32—42	37—47
	усл. ед.	0,57	0,67	0,78	0,89

Окончание табл. 3.7

Показатель	Единица измерения	Горизонтально-слоистой структуры		Пространственной структуры из гидромасс	Гофрированной структуры
		конвейерного формирования	горячего прессования		
Теплопроводность	Вт/(м·К)	0,049—0,051	0,050—0,055	0,049—0,054	0,049—0,052
Себестоимость изготовления	%/м <sup>3</sup>	58	100	67	46

### Минераловатные плиты повышенной жесткости

К числу ограждающих конструкций с эффективным утеплителем в первую очередь относятся покрытия по профилированному металлическому настилу, а также покрытия из железобетонных плит повышенной заводской готовности. Утеплитель в этих конструкциях должен иметь достаточную прочность для того, чтобы непосредственно по нему устраивать водоизоляционный слой без промежуточной упрочняющей цементно-песчаной или асфальтовой стяжки.

Такие конструктивные решения исключают «мокрые» процессы по устройству стяжек на стройке, а также создают условия для укрупнения конструкции в монтажные блоки. В качестве утеплителя обычно применяли пенополистирол. Однако выявившиеся в последнее время его пожароопасность и недостаточная теплостойкость поставили задачу создания трудносгораемого материала, отвечающего условиям работы в конструкции и имеющего достаточную термостойкость и прочность при сжатии не менее 0,8 кгс/см<sup>2</sup> (при 10 %-ном уплотнении) при плотности не более 200—220 кг/м<sup>3</sup>.

Наиболее эффективной заменой пенополистиролу стали минераловатные плиты повышенной прочности на синтетических связующих, изготавливаемые методом подпрессовки минераловатного ковра или методом формования из поризованной гидромассы. Повышение прочности теплоизоляционных плит достигается за счет подпрессовки минеральной ваты (пропитанной заранее раствором синтетического связующего) и закрепления уплотненного слоя путем отверждения связующего в процессе тепловой обработки. Прочность плит на сжатие при 10 %-ном уплотнении составила 0,8—1,0 кгс/см<sup>2</sup> при плотности до 200 кг/м<sup>3</sup>. Ровная, прочная по-

верхность плит позволяет наклеивать на них облицовочные и отделочные слои из стеклопластика, фольгоизола, древесно-волоконистых плит и других материалов.

**Плиты повышенной жесткости** обладают достаточно высокими показателями прочности, что позволяет широко использовать их в качестве звуко- и теплоизоляционного самонесущего строительного материала в ограждающих покрытиях зданий различного назначения. Плиты могут быть облицованы гидроизоляционным или декоративно-отделочным слоем.

### **Минераловатные мягкие, полужесткие и жесткие плиты на битумном связующем**

Для производства мягких плит (ПМ) можно применять битумы многих марок или смеси расплавленных битумов, которые в различных соотношениях имеют и различную температуру размягчения (в пределах 50—80 °С).

Битум вводят в минеральную вату, распыляя его в камере волоконноосаждения. При этом битум более или менее равномерно распределяется в минераловатном ковре. Ковер уплотняется до требуемой толщины, охлаждается и разрезается на плиты требуемых размеров. Полотнища мягких плит (минеральный войлок) свертывают в рулоны и упаковывают в жесткую тару, в водонепроницаемую бумагу (по согласованию с потребителем). Размеры полотнищ войлока: длина 1—2 м, ширина 0,450—1,0 м, толщина 5—10 см.

Существенным недостатком минераловатного войлока на битумном связующем, который необходимо учитывать при использовании, является возможность его деформации при нагрузках даже от собственного веса, что приводит к самоуплотнению при хранении и перевозке. При этом плотность изделий может значительно увеличиваться (до двух раз) против первоначальной.

Предел прочности при разрыве (вдоль волокон) мягких плит должен быть не менее 0,075 кгс/см<sup>2</sup>. Применяются для изоляции конструкций, температура которых не превышает 60 °С.

**Полужесткие плиты (ПП)** получают в результате тепловой обработки минераловатного ковра, пропитанного битумом (марки не ниже БН-IV или смесью битума БН-1П и БН-V), и охлаждением его в подпрессованном состоянии (табл. 3.8).

Технологический процесс производства полужестких плит аналогичен процессу изготовления войлока. Отличие заключается в том, что в производстве полужестких плит применяется более высокоплавкий битум с температурой размягчения не ниже 70 °С, количество связующего увеличивается до 14—18 % и тепловая об-

### **Размеры минераловатных плит на битумном связующем**

Таблица 3.8

Вид плит	ГОСТ	Размеры, см		
		длина	ширина	толщина
Мягкие (ПМ)	10140	100; 150; 200	50; 100	5, 6, 7, 8, 9 и 10
Полужесткие (ПП)	10140	50 100	45; 50	5, 6, 7, 8, 9 и 10
Жесткие (ПЖ)	10140	100	50	4, 5, 6 и 7

**Примечание.** По согласованию потребителя с предприятием-изготовителем допускается изготовление плит других размеров, наиболее целесообразных для конкретных условий применения.

### **Физико-технические показатели минераловатных плит на битумном связующем**

Таблица 3.9

Показатель	Наименование плит		
	ПМ	ПП	ПЖ
Плотность (кг/м <sup>3</sup> ), не более	75—100	150—250	200—300
Коэффициент теплопроводности (Вт/м · К)	0,046	0,052—0,064	0,058—0,064
Уплотнение под нагрузкой 0,02 кг/см <sup>2</sup> (%), не более	40—30	24—12	6—5
Содержание битума (%), не более	5	17	18
Влажность (%), не более	2	2	2

работка ковра производится при 180 °С до уплотнения слоя на заданную величину.

Размеры полужестких плит: длина 1,5 и 1,0 м; ширина 0,50 и 1,0 м; толщина 5, 6, 7, 8, 9 и 10 см. Максимальная температура применения +60 °С.

**Жесткие плиты (ПЖ)** изготавливают из минеральной ваты, обработанной битумной эмульсией или пастой, с последующим прессованием или сушкой (ГОСТ 10140).

Жесткие плиты производят так называемым мокрым прерывным способом, по которому плиты формируют вакуум-прессованием из гидромассы. Сущность технологии заключается в том, что минеральную вату предварительно разрыхляют и смешивают с битумной эмульсией, в которую предварительно введена глинистая или диатомитовая суспензия. Из полученной гидромассы (при соотношении жидкой фазы к твердой до 10 : 1) на прессе формируют плиты при удельном давлении до 0,03—0,04 кгс/см<sup>2</sup>.

Отформованные плиты сушат 16—18 часов при температуре 180—220 °С со стороны загрузки и до 160 °С — со стороны выгрузки

(в камере тепловой обработки). Затем плиты упаковывают в жесткую тару или пакеты из водонепроницаемой бумаги. Эти плиты можно применять для изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и холодильников при температуре изолируемых поверхностей до +70 °С.

Размеры плит: длина 1 м; ширина 0,5 м; толщина 4, 5, 6 и 7 см. Свойства плит приведены в табл. 3.7 и 3.8.

МВИ на битумных связующих в перспективе, вероятно, будут постепенно вытесняться МВИ на синтетических и композиционных связующих.

### 3.1.2. Стекловолоконное волокно и изделия из него

Стекловолоконное волокно (стекловолокно) — разновидность минерального волокна. Оно является полуфабрикатом при производстве теплоизоляционных и акустических изделий. Сырьем для изготовления стекловолокна служит шихта, состоящая из кварцевого песка, известняка (доломита) и соды (сульфата натрия), смешанных в определенной пропорции. Шихта расплавляется в стекловаренной ванне и затем перерабатывается в стекловолокно.

В зависимости от среднего диаметра различают стекловолокно: ультратонкое (УТВ) диаметром менее 1 мкм, супертонкое (СТВ) — 1—3 мкм, тонкое — 4—12 мкм, утолщенное — 12—25 мкм и толстое — более 25 мкм.

По длине волокно подразделяется на непрерывное (длиной 3 м и более) и штапельное (длиной 30—50 мм).

Непрерывное стекловолокно получают методом вытягивания через фильеры. Для этого шихту расплавляют в ванне печи. Расплавленная стекломасса поступает в питатель, в дно которого вмонтирована платинородиевая пластинка (фильерный питатель) с отверстиями диаметром 1—2 мм. Через эти отверстия стекломасса вытекает струйками, которые наматываются на вращающийся с большой частотой барабан. При этом струйки вытягиваются в волокна и остывают. Таким способом изготавливают стекловолокно диаметром от 4 до 25 мкм.

После вытягивания стеклянные волокна пропускают через замасливающее устройство, где они смачиваются быстрозастывающими эмульсиями, изготовленными на основе парафина, или водным раствором клеящих веществ (крахмала, декстрина, желатина) с пластификаторами. Замасливатели применяют для обеспыливания стекловолокна и придания ему гибкости при дальнейшей переработке.

Из непрерывного стекловолокна изготавливают теплоизоляционные маты, полосы.

Маты и полосы из стекловолоконного волокна (ТУ 21-23-72-89) — это эластичные пластины прямоугольной формы, состоящие из нескольких наложенных одна на другую слоев стекловолоконного волокна, покрытые с двух сторон стеклотканью или стеклохолстом и прошитые в продольном или поперечном направлении хлопчатобумажными или стеклянными нитями.

В зависимости от среднего диаметра стекловолоконного материала покрытия маты выпускают марок МТС-12 (диаметр волокна 12 мкм, покрытие стеклотканью марки А), МТХ-20 и МТХ-30 (диаметр волокна соответственно 20 и 30 мкм, покрытие стеклохолстом марки ВВ-Т); полосы имеют марку ПТХ-30 (диаметр волокна 30 мкм, покрытие стеклохолстом). Размеры матов и полос, а также показатели их физико-механических свойств в зависимости от марки приведены в табл. 3.10.

Размеры матов и полос из стекловолоконного волокна и показатели их физико-механических свойств

Таблица 3.10

Показатели	МТС-12	МТХ-20, МТХ-30	ПТХ-30
Размеры, мм:			
длина	1000	1000—3000	500—3000
ширина	500	300—700	200, 250
толщина	5; 9	20; 30; 50	
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	110	150; 175	175
Температуростойкость, °С	500	450	
Теплопроводность при температуре 298 К, Вт/(м · К)		0,047—0,052	
Влажность, %, не более		5	

Маты из стекловолоконного волокна применяют для изоляции аппаратов и трубопроводов диаметром 108 мм и более, полосы — для изоляции трубопроводов диаметром менее 108 мм при температуре изолируемой поверхности от -180 до +450 или +500 °С (в зависимости от марки).

**Штапельное стекловолоконное волокно и изделия из него.** Штапельное стекловолокно получают непосредственно из расплавленной стекломассы различными способами: вертикального раздува паром (ВРП) или воздухом (ВРВ), центробежным, центробежно-фильерно-дутьевым, раздувом первичных непрерывных стеклянных волокон потоком раскаленных газов.

Из штапельного стекловолоконного волокна изготавливают изделия в виде матов, плит и шнуров.

Изделия из штапельного стекловолоконного волокна (ГОСТ 10499-95), полученного способом вертикального раздува ВРП или ВРВ, наи-

более широко распространены. В изделиях элементарные волокна склеены синтетическими смолами. В качестве связующего вещества обычно применяют раствор фенолоформальдегидной смолы, который распыляется форсунками в вертикальной камере волокносаждения. Покрытый связующим слой волокон конвейером подается в камеру сушки и отверждения смолы, где он также уплотняется. Сушка производится подогретым воздухом, который вентилятором просасывается через слой волокон, расположенных на конвейере. После сушки стекловолокнистый ковер разрезается на изделия.

По назначению и средней плотности изделия из штапельного волокна подразделяются на марки. Размеры изделий приведены в табл. 3.11.

#### Марки и размеры изделий из штапельного стеклянного волокна

Таблица 3.11

Изделия	Марка	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	Размеры, мм		
			длина	ширина	толщина
Плиты	П-190	176–200	1000, 1500	от 500 до 1500	от 40 до 140
	П-160	151–176			
	П-75	67–84			
	П-60	51–66			
	П-45	39–50			
	П-30	28–39			
П-20	19–26				
Маты	М-45	41–50	от 1000 до 15 000	от 500 до 1500	от 40 до 140
	М-35	30–41			
	М-25	21–29			
	М-15	14–20			

Плиты технические могут быть оклеены с одной или двух сторон стеклотканью, алюминиевой фольгой, синтетической пленкой или другим обкладочным материалом.

Средний диаметр элементарного волокна таких изделий от 10 до 13 мкм; содержание неволоконистых включений в них от 3 до 5 % по массе; содержание связующего вещества от 6 до 13 % по массе; теплопроводность изделий в сухом состоянии при средней температуре 298 К от 0,047 до 0,057 Вт/(м·К). Изделия относятся к группе трудногорючих (Г2).

Изделия применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций жилых, общественных и производственных зданий, печей, трубопроводов и оборудования промышленных предприятий, а также транспортных средств (морских и речных судов, железнодорожных вагонов, самолетов) при температуре изолируемых поверхностей от

–60 до +180 °С. Они могут быть использованы также в звукопоглощающих и звукоизолирующих конструкциях.

Маты из штапельного и непрерывного волокна сворачивают в рулоны и упаковывают в бумагу, заклеивают или перевязывают шпагатом. Плиты упаковывают в водонепроницаемую бумагу или клетки из деревянных планок. Эти изделия транспортируют в крытых транспортных средствах, а хранят в сухих закрытых складах только в упакованном виде.

Изделия из супертонкого стекловолокна без связующего (ТУ 21-23-235–93, ТУ 21-5328981-05–92), в которых элементарные стекловолокна связаны силами естественного сцепления, выпускают в виде ваты или матов. Супертонкое волокно представляет собой слой перепутанных штапельных волокон, полученных способом раздува горячими газами первичных непрерывных волокон. Средняя плотность изделия не более 25 кг/м<sup>3</sup>; диаметр стекловолокна не превышает 3 мкм; влажность не более 5 %; теплопроводность не более 0,044 Вт/(м·К). Такие изделия используют в качестве тепловой изоляции в бытовых холодильниках, промышленных и строительных конструкциях, а также в качестве звукопоглощающего и звукоизоляционного материала. Из супертонкого стеклянного волокна можно шить маты в различных обкладках. Температура применения от –200 до +450 °С.

Теплозвукоизоляционный материал АТМ-1 (ТУ 563-015-04616815–97) относится к изделиям из супертонкого штапельного стекловолокна на связующем. В качестве связующего вещества применяют фенолоформальдегидную смолу марки ВР-1 в количестве 15–25 % по массе. Материал АТМ-1 выпускают в виде матов, оклеенных полиэтилентерефталатной пленкой толщиной 0,02 мм (температура применения от –180 до +70 °С), стеклотканью (от –180 до +80 °С), алюминиевой фольгой толщиной 0,02 мм (от –180 до +150 °С) или неоклеенных (температура применения от –180 до +150 °С). Средняя плотность материала 8–10 кг/м<sup>3</sup>. Размеры матов (мм): длина — 575; ширина — 50–100; толщина — 20–40 с градацией через 5 мм. Материал нестареющий (кроме материала, оклеенного пленкой).

Холстопршивное полотно из стеклянного волокна ПСХ-Т (ТУ 6-48-97–93) вырабатывают из мягких отходов стеклянного волокна без связующего, прошитых стеклянными кручеными комплексными нитями. Холстопршивное полотно марки ПСХ-Т выпускают в виде рулонов длиной 20 и 30 м, шириной 800, 1000 и 1600 мм, толщиной 1,4 мм. Поверхностная плотность 500 г/м<sup>2</sup>; теплопроводность 0,047 Вт/(м·К); температура применения от –180 до +550 °С. Применяют его для тепловой изоляции трубопроводов диаметром до 76 мм. Перед нанесением на трубопровод для достижения требуемой толщины полотно складывают в несколько слоев.

### 3.1.3. Асбест и изделия из него

**Асбест** — минерал волокнистого строения, способный расщепляться на тонкие и гибкие волокна. Для тепловой изоляции применяют обычно хризотилловый асбест (ГОСТ 12871—93), обладающий высокой температуростойкостью (500 °С при длительном нагреве, 700 °С — при кратковременном). Прочность волокон асбеста на разрыв составляет до 3000 МПа и превышает прочность стальной проволоки [64].

Асбест хорошо адсорбирует (поглощает) воду вследствие развитой удельной поверхности. Эта способность асбеста используется для образования пористости у всех асбестосодержащих теплоизоляционных изделий.

Асбест залегает в породе в виде отдельных жил. Его добывают взрывным способом в основном в открытых карьерах. Добытая в карьере асбестовая руда подвергается механическому обогащению, т. е. пустую породу отделяют от асбестового волокна. В процессе обогащения волокно расщепляется и с помощью барабанных сит разделяется в зависимости от длины волокна на восемь групп — от нулевой до седьмой.

Хризотилловый асбест обладает слабой кислотоустойчивостью и высокой щелочестойкостью. Средняя плотность асбеста зависит от степени распушки асбеста, уплотнения волокна и увеличивается с уменьшением длины волокна и с увеличением содержания пыли. Плотность асбеста 2,4—2,6 г/см<sup>3</sup>.

Асбест с волокнами, не деформированными в процессе обработки и имеющими в поперечнике более 2 мм, называют кусковым, а имеющими менее 2 мм, — иголками. Асбест с перепутанными деформированными волокнами называют распушенным; частицы породы, сопутствующие асбесту и прошедшие через сито с ячейкой 0,25 мм, — пылью; частицы, прошедшие через сито с ячейкой 4,8 мм и оставшиеся на сите 0,4 мм, — галью. По длине волокна асбест делится на восемь групп.

Обозначение марки асбеста состоит из буквенного выражения, первой цифры, показывающей группу, второй — массовую долю остатка на ситах (для асбеста 0—6-й групп) и насыпную плотность в г/дм<sup>3</sup> (для асбеста 7-й группы). Буквенные выражения в марке обозначают: АК — асбест кусковой (группа 0); ДВ — асбест длиноволокнистый (группа 0); ПРЖ — асбест промежуточной длины (1-я и 2-я группы), П и М — указывает на разделение асбеста на подгруппы (внутри 2, 3, 4, 5 и 6-й групп) в зависимости от массовой доли фракции менее 0,14 мм; К — способ получения асбеста (6-я группа).

В зависимости от группы асбеста и гарантируемого остатка волокна на ситах контрольного аппарата асбест подразделяется на 42 марки. Например, марка К-6-30 обозначает, что асбест получен способом пылеосадительных устройств (К), относится к 6-й группе (6) и остаток на сите составляет 30 %. Массовая доля влаги не должна превышать 3 %.

К изделиям из асбеста относятся картон и шнуры.

**Асбестовый картон** (ГОСТ 2850—95) — огнестойкий листовой материал, изготовленный из хризотилового асбеста 4-й и 5-й групп с наполнителем и склеивающим веществом. Выпускают картон в виде листов размерами (длина × ширина), мм: 900 × 900; 600 × 1000; 800 × 1000; 900 × 1000; 1000 × 1000; толщиной 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8 и 10. Средняя плотность 1000—1400 кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность при температуре 273 К составляет 0,157, при 373 К — 0,171 Вт/(м·К). Применяют асбестовый картон в качестве теплоизоляционного (марок КАОН-1 и КАОН-2) и огнезащитного материала при температуре изолируемой поверхности до 500 °С.

**Асбестовые шнуры** (ГОСТ 1779—83\*Е) по назначению и способу изготовления выпускают различных марок (табл. 3.12).

**Марки асбестовых шнуров в зависимости от способа изготовления и назначения**

Таблица 3.12

Обозначение и наименование марок	Способ изготовления	Область применения
ШАОН — шнур асбестовый общего назначения	Кручение асбестовой пряжи в несколько сложений или обвивание сердечника (чесальной ленты, жгута из ровницы) асбестовой пряжей	Теплоизоляция и уплотнение до 400 °С
ШАМ — шнур асбестовый магнезиальный	Оплетение асбестовыми нитями или хлопчатобумажной пряжей асбестовой чесальной ленты, упрочненной асбестовыми, хлопчатобумажными или стеклянными нитями	Теплоизоляция и уплотнение до 425 °С
ШАП — шнур асбестовый пуховый	Обвивание асбестовыми, стеклянными нитями или хлопчатобумажной пряжей асбестовой чесальной ленты, упрочненной асбестовыми или стеклянными нитями	Теплоизоляция до 200 °С
ШАГ — шнур асбестовый газогенераторный	Оплетение в виде сеток асбестового шнура ШАОН латунной проволокой или асбестовой пряжей, скрученной со стеклянной нитью	Уплотнение газогенераторных установок до 400 °С. Для тепловой изоляции не применяется



Диаметры асбестовых шнуров в зависимости от марки (мм): ШАОН — 0,70—25; ШАМ — 12—32; ШАГ — 10; 15; диаметр шнура ШАП не определяется.

Теплопроводность шнуров в конструкции [Вт/(м · К)] для ШАП —  $0,093 + 0,0002 \cdot t_{\text{ср}}$ , для ШАМ —  $0,093 + 0,0002 \cdot t_{\text{ср}}$ , для ШАОН —  $0,13 + 0,00026 \cdot t_{\text{ср}}$ , где  $t_{\text{ср}}$  — средняя температура изоляционного слоя. Масса 1 м шнура и расход на 1 м<sup>3</sup> определяется в зависимости от линейной плотности шнура (массы 1 м). Средняя плотность колеблется (кг/м<sup>3</sup>): для ШАП — от 300 до 500; для ШАМ — от 600 до 700; для ШАОН — от 750 до 900.

Шнуры выпускают намотанными в бобины, клубки или бухты, упакованными в бумагу или упаковочную ткань. Хранят их в закрытом помещении. Асбестовые шнуры применяют для тепловой изоляции трубопроводов диаметром до 76 мм в пределах температур, указанных в табл. 3.12.

Обычно асбест используют в качестве армирующего вещества при изготовлении теплоизоляционных асбестосодержащих изделий (совелитовых, известково-кремнеземистых, перлитцементных). Кроме того, асбест добавляют в порошки для изготовления теплоизоляционных мастик (асбозурит) и штукатурок (асбестоцементной, асбозуритоцементной). Введение асбеста в теплоизоляционные изделия понижает их среднюю плотность и теплопроводность и повышает прочность.

К асбестосодержащим теплоизоляционным порошкам относятся порошки, состоящие из смеси асбеста и трепела (диатомита), — асбестотрепельные; из смеси магнезии с асбестом, — асбестомагнезиальные. Асбестосодержащие порошки после затворения их водой используют для мастичной изоляции, которая имеет ограниченное применение. Они служат для изоляции объектов с температурой поверхности более 20 °С.

Асбозурит (ТУ 36-130-83) — асбестотрепельный материал, состоящий из порошкообразной смеси трепела или диатомита с асбестом не ниже 6-й группы в количестве не менее 15 %. По средней плотности асбозурит разделяют на марки 700, 800; теплопроводность при температуре 298 К — 0,170—0,190 Вт/(м · К). Асбозуритовую мастику, получаемую из асбозурита, применяют для изоляции поверхностей с температурой до 900 °С. Мастику наносят на поверхности, предварительно нагретые до 150 °С.

К группе асбестомагнезиальных порошков относятся магнезия «Ньювель» и совелитовый порошок, которые после затворения водой используют в виде мастики для изоляции поверхностей. Мастику наносят на поверхности, предварительно нагретые до 150 °С.

Магнезия «Ньювель» (ТУ 6-18-48-85) — порошкообразный материал, который состоит из магнезии (карбоната магния MgCO<sub>3</sub>), сме-

шанной с распушенным асбестом. Асбест применяется не ниже 3-й группы в количестве 14—19 %. Средняя плотность сухого материала не более 198 кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность — не более 0,081 Вт/(м · К); временное сопротивление изгибу — 0,15 МПа при содержании влаги в нем не более 12 % по массе.

Мастика из порошка «Ньювель» предназначена для тепловой изоляции трубопроводов, арматуры, оборудования при температуре изолируемой поверхности до 330 °С, а также для изготовления теплоизоляционных матрасцев и изделий.

Совелитовый порошок (ТУ 36-131-83), получаемый путем размола боя совелитовых изделий, представляет собой смесь солей углекислого магния и углекислого кальция с асбестом. Средняя плотность порошка не превышает 350 кг/м<sup>3</sup> при влажности не более 30 %; средняя плотность образцов, отформованных из совелитового порошка, не более 525 кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность при температуре 298 К — 0,090 Вт/(м · К); предел прочности при изгибе не менее 0,15 МПа. Мастику из совелитового порошка применяют для тепловой изоляции поверхностей с температурой до 500 °С.

Асбозурит и магнезию «Ньювель» перевозят навалом в крытых железнодорожных вагонах или закрытых автомашинах. Порошки хранят в сухих закрытых помещениях в специальных ларях. Совелитовый порошок упаковывают в мешки из мешочной бумаги. Масса мешка не более 30 кг. Транспортируют и хранят порошок в условиях, не допускающих его увлажнения и загрязнения.

Асбестосодержащие теплоизоляционные изделия применяют только для изоляции объектов с температурой поверхности свыше 20 °С.

Теплоизоляционные совелитовые изделия состоят из углекислого магния MgCO<sub>3</sub>, углекислого кальция CaCO<sub>3</sub> и асбеста. Такие изделия изготавливают путем прессования и сушки массы, полученной смешением доломита (горная порода CaCO<sub>3</sub> — MgCO<sub>3</sub>) с асбестом марок П-5-50 и П-6-40 в количестве 15 % от массы доломита.

Доломит дробят, обжигают в шахтной печи и затем после добавления воды гасят в гасильном аппарате, где образуется доломитовое молоко. Доломитовое молоко карбонизируется (насыщается углекислым газом), после чего подается в провариватель, в котором находится распушенный асбест с водой. Сюда же поступает насыщенный пар под давлением 0,4—0,6 МПа. В результате химической переработки содержание углекислых солей кальция и магния в совелитовой гидромассе достигает 85 %. Гидромасса подается в пресс, где из нее прессуются блоки, которые затем разрезают на плиты.

По средней плотности совелитовые изделия разделяют на марки 350 и 400. Размеры плит (мм): длина — 250 и 500; ширина — 40, 50, 60, 75; полуцилиндров и сегментов (мм): длина — 500; внутрен-

ний диаметр — 57, 76, 89, 108, 133 и 159 (для полуцилиндров) и 219, 273, 325, 377 и 426 (для сегментов); толщина — 40, 50, 55, 70, 75 и 80 мм. Промышленность выпускает только плиты в ограниченном количестве. Показатели физико-механических свойств совелитовых изделий в зависимости от марки приведены в табл. 3.13.

**Показатели физико-механических свойств совелитовых изделий в зависимости от марки**

Таблица 3.13

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> (марка), не более	350	400
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при средней температуре, К: 298 ± 5 398 ± 5	0,079 0,091	0,084 0,095
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,2	0,22

Влажность изделий не должна превышать 30 % по массе; линейная температурная усадка при температуре 500 °С — 2 %.

Совелитовые изделия применяют для тепловой изоляции оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 500 °С.

### 3.1.4. Диатомит, трепел и изделия из них

**Диатомиты и трепелы** — пористые осадочные породы, состоящие в основном из аморфного кремнезема SiO<sub>2</sub> (в диатомитах 90—95 % SiO<sub>2</sub>, трепелы содержат больше примесей). Химический состав диатомитов и трепелов почти одинаков, однако микроструктура разная. Это объясняется различием в геологическом возрасте отложений. Диатомиты относятся к более поздним, а трепелы — к более ранним отложениям. Диатомиты состоят из обломков панцирей диатомовых рачков, почти полностью сохранивших свою структуру. Трепелы — более плотная порода, в которой исходное вещество целиком утратило свою первоначальную форму. Диатомиты более пористые, чем трепелы. В зависимости от количества органических примесей и наличия оксидов железа цвет диатомита и трепела меняется от белого до светло-желтого [14].

Высокая пористость и низкая средняя плотность (пористость диатомита в куске 85 %, пористость трепелов ниже) определила использование трепелов и диатомитов для тепловой изоляции. Пластичность диатомитов и трепелов зависит от содержания в них глинистых примесей. Диатомиты (трепелы) добывают в карьерах открытым способом.

Средняя плотность диатомита в зависимости от месторождения колеблется от 380 до 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Диатомит комовый, предназначенный для изготовления теплоизоляционных материалов (ТУ 5761-001-25310144—93), должен иметь среднюю плотность не более 800 кг/м<sup>3</sup> и влажность не более 50 %, теплопроводность при средней температуре 323 К — 0,181 Вт/(м · К), при 573 К — 0,195 Вт/(м · К), температуростойкость 900 °С.

**Диатомитовая обожженная крошка** (ТУ 36-888—83) — материал различного зернового состава, получаемый путем обжига, дробления и сортирования исходного сырья. Крошку выпускают средней плотностью 350 кг/м<sup>3</sup> и применяют в качестве легковесной жаростойкой добавки при изготовлении жаростойких легких бетонов, в виде засыпки для тепловой изоляции горячих поверхностей промышленных печей и технологического оборудования при температуре изолируемых поверхностей до 900 °С. Теплопроводность крошки при средней температуре слоя 298 К не более 0,1 Вт/(м · К), при температуре 573 К — 0,16 Вт/(м · К). В основном из диатомита (трепела) изготавливают диатомитовые и пенодиатомитовые теплоизоляционные изделия; кроме того, их применяют как составную часть при изготовлении жестких теплоизоляционных изделий (известково-кремнеземистых, вулканитовых, перлитодиатомитовых) или теплоизоляционных порошков для мастичной изоляции, а также огнестойких штукатурок и жаростойких бетонов.

**Диатомитовые и пенодиатомитовые изделия** (ГОСТ 2694—78) различаются способом образования в них пористости. В диатомитовых изделиях пористость получают способом выгорающих добавок (древесных опилок), в пенодиатомитовых — способом пенообразования. Способом пенообразования получают изделия с меньшими значениями средней плотности и теплопроводности.

Диатомитовые (Д) и пенодиатомитовые (ПД) изделия должны выпускаться в виде кирпичей (К) размерами 250 × 123 × 65 мм (К1), 230 × 113 × 65 мм (К2); полуцилиндров (П) длиной 330 и 500 мм, внутренним диаметром 57, 76, 89 и 108 мм, толщиной от 40 до 80 мм в зависимости от диаметра; сегментов (С) длиной 330, 500 мм, внутренним диаметром 133, 159, 219 мм и толщиной от 40 до 80 мм в зависимости от диаметра.

По плотности изделия подразделяют на марки ПД-350, ПД-400, Д-500, Д-600 (табл. 3.14). Промышленность выпускает пенодиатомитовый кирпич ПД-350 и диатомитовый кирпич Д-500.

Перлитодиатомитовые изделия описаны в разделе, посвященном перлитовым изделиям.

Пенодиатомитовые и диатомитовые изделия применяют для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов, а также печей при температуре изолируемой поверхности до 900 °С.

**Показатели физико-механических свойств пенодиатомитовых и диатомитовых изделий в зависимости от марки**

Таблица 3.14

Показатель	ПД-350	ПД-400	Д-500	Д-600
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	350	400	500	600
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при средней температуре, К: 298 ± 5 573 ± 5	0,084 0,122	0,095 0,134	0,104 0,157	0,116 0,167
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	0,6	0,8	0,6	0,8
Линейная температурная усадка при 900 °С, %, не более	2			

Пенодиатомитовые кирпичи иногда используют в жилищном строительстве. Так, в г. Инзе квартал заводских домов построен с применением таких кирпичей.

**3.1.5. Известково-кремнеземистые изделия**

Известково-кремнеземистые изделия (ГОСТ 24748–81) изготавливают из тонкоизмельченной смеси извести, кремнеземистого материала (трепел, диатомит, кварцевый песок) с содержанием диоксида кремния SiO<sub>2</sub> не менее 75 % и асбеста 5-й или 6-й группы полужесткой структуры путем тепловлажностной обработки в автоклаве [15].

По средней плотности известково-кремнеземистые изделия разделяют на марки 200 (высшая категория качества) и 225 (первая категория качества). Изделия выпускают в виде плит прямоугольного (ППС) и трапецеидального (ПТС) сечений, полуцилиндров (Ц) и сегментов (С).

Размеры плит (мм): ППС — длина 1000, ширина 500; ПТС — длина 1025, ширина 525 (по нижнему основанию); длина 1000; ширина 500 (по верхнему основанию). Толщина обоих видов плит 75 и 100 мм. Физико-механические свойства изделий приведены в табл. 3.15.

Изделия применяют для тепловой изоляции поверхностей трубопроводов и оборудования при температуре изолируемых поверхностей до 600 °С. Широкое применение изделия получили в печестроении, изоляции котельного оборудования. К достоинствам изделий следует отнести полное отсутствие в них органических веществ.

**3.1.6. Вулканитовые изделия**

**Вулканитовые изделия** — разновидность известково-кремнеземистых изделий. Изготавливают такие изделия из диатомита, извести и асбеста 6-й группы путем автоклавной обработки [22].

**Показатели физико-механических свойств известково-кремнеземистых изделий в зависимости от марки**

Таблица 3.15

Средняя плотность в сухом состоянии (марка), кг/м <sup>3</sup> , не более	200	225
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при температуре, К 298 ± 5 398 ± 5 573 ± 5	0,058 0,070 0,104	0,065 0,077 0,112
Предел прочности при изгибе в сухом состоянии, МПа, не менее	0,35	0,35
Линейная температурная усадка при температуре 600 °С, %, не более	1,8	2,0
Влажность, %, не более	65	70
Температурустойчивость, °С	600	600

Вулканитовые изделия отличаются от известково-кремнеземистых соотношением компонентов и способом термовлажностной обработки. При производстве известково-кремнеземистых изделий тепловая обработка (запарка и сушка) осуществляется в автоклаве. При производстве вулканитовых изделий запарка происходит в автоклаве, а сушка — в туннельных сушилках.

По средней плотности вулканитовые изделия разделяют на марки 300, 350 и 400 (табл. 3.16).

Линейная температурная усадка изделий при 600 °С не должна превышать 2 %. Влажность изделий по массе составляет около 30 %. Размеры вулканитовых изделий такие же, как у совелитовых. Промышленность выпускает только плитные изделия.

Вулканитовые изделия используют для тепловой изоляции оборудования и трубопроводов промышленных установок при температуре изолируемой поверхности до 600 °С.

**Упаковка, хранение и транспортировка изделий.** Совелитовые, известково-кремнеземистые и вулканитовые изделия заворачивают в водонепроницаемую бумагу или полиэтиленовую пленку и укладывают на ребро в деревянные ящики, обрешетки, коробки или пакеты. Хранят изделия в закрытых складах.

**3.1.7. Вспученный перлит и изделия из него**

**Вспученный перлит** (ГОСТ 10832–91) — пористый материал в виде песка или щебня, получаемый термической обработкой дробленых вулканических стекол — перлитов и обсидианов. Перлит — магматическая горная порода, являющаяся продуктом вулканического извержения. Месторождения перлитов расположены на Север-

**Показатели физико-механических свойств вулканических изделий различных марок**

Таблица 3.16

Показатель	Марка 300	Марка 350	Марка 400
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	300	350	400
Теплопроводность, Вт/(м·К), не более, при средней температуре, К: 298 ± 5 398 ± 5	0,076 0,088	0,081 0,092	0,087 0,099
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,3	0,35	0,4

ном Кавказе, в Бурятии, на Камчатке, в Магаданской области. За рубежом наиболее значительные запасы перлитов находятся в Армении, Грузии, Турции, Греции [31, 39, 58, 62].

Основная особенность вулканических стекол, лежащая в основе их поризации, — содержание в них так называемой растворенной воды. При резком нагревании вулканическое стекло размягчается и вспучивается за счет превращения содержащейся в нем воды в пар.

Вспученный перлит получают путем обжига дробленого природного перлита в специальных печах. Температура вспучивания перлита зависит от его природных свойств и находится в пределах от 850 до 1250 °С. Лучшее сырье для получения вспученного перлита — породы, вспучивающиеся при температуре до 1050 °С в одну стадию. Вспученный перлит в зависимости от размера зерен разделяют на песок (зерна размером менее 5 мм) и щебень (зерна размером от 5 до 20 мм).

*Вспученный перлитовый песок* в зависимости от размера зерен подразделяется на фракции: рядовой — с зернами любых фракций размером менее 5 мм; крупный — с зернами размером 1,25—5 мм; средний — от 0,16 до 2,5 мм; мелкий — с зернами размером 0,16—1,25 мм; пудра — с зернами размером менее 0,16 мм.

По насыпной плотности вспученный перлитовый песок делится на марки 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500.

Влажность песка не более 2 % по массе; теплопроводность при средней температуре 298 К в зависимости от насыпной плотности колеблется от 0,047 до 0,093 Вт/(м·К).

Для тепловой изоляции применяют песок марок 75 и 100; для изготовления теплоизоляционных акустических материалов и штукатурных растворов — марок 75, 100 и 150, для легких бетонов — марок 150 и 200.

*Вспученный перлитовый щебень* в зависимости от размера зерен подразделяется на фракции: от 5 до 10 мм и от 10 до 20 мм. По на-

сыпной плотности перлитовый щебень делится на марки 200, 250, 300, 400, 500. Промышленность выпускает щебень марок 300, 400, 500. Прочность при сдавливании в цилиндре вспученного перлитового щебня колеблется от 0,15 до 0,90 МПа в зависимости от марки.

Вспученный перлитовый песок применяют в качестве заполнителя в теплоизоляционных, конструкционно-теплоизоляционных, конструктивных и жаростойких легких бетонах и огнестойких штукатурных растворах. Применяют вспученный перлит для изготовления теплоизоляционных и акустических материалов, а также для теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемых поверхностей от –200 до +875 °С. Для изоляции объектов с отрицательными температурами обычно применяют перлит марок 75 и 100, для объектов с положительной температурой — более высокие марки. Вспученный перлитовый щебень используют в качестве заполнителя в легких бетонах.

Перлитовые песок и щебень гигроскопичны, их влажность должна быть не более 2 % по массе, поэтому их поставляют в полиэтиленовых или многослойных бумажных мешках.

Вспученный перлитовый песок используют для изготовления теплоизоляционных изделий: перлитцементных, перлитокерамических, перлитофосфогелевых, перлитобитумных и др., а вспученный щебень — для изготовления жаростойких бетонов. Изделия из вспученного перлитового песка получают с использованием различных связующих веществ (портландцемент, жидкое стекло, глина, битум, щелочи и др.). Вид связующего влияет на технологию изготовления изделий и их свойства.

В зависимости от принятой технологии производства из вспученного перлита изготавливают изделия двух видов: безобжиговые — с температурой применения до 600 °С и обжиговые — с температурой применения до 900 °С.

**Перлитцементные изделия** (безобжиговые) (ТУ 36.16.22-72-96) изготавливают из вспученного перлитового песка, цемента и асбеста. Для этого готовят водную асбестоцементную суспензию. Суспензия состоит из асбеста (не ниже 6-й группы) — 14 % и портландцемента (марки не ниже 400) — 43 % по массе. Состав смешивают в лопастной горизонтальной мешалке со вспученным перлитовым песком насыпной плотностью 100—150 кг/м<sup>3</sup> (43 % по массе), после чего полученную массу формуют на гидравлических прессах, а затем сушат в туннельных сушилах.

Перлитцементные изделия изготавливают в виде плит длиной 500 и 1000 мм, шириной 500 мм, толщиной 50, 75 и 100 мм, а также в виде полуцилиндров (скорлуп) и сегментов. Внутренний диаметр полуцилиндров 58, 78, 91, 110, 135, 161, 222 мм, длина 500 и 1000 мм,

толщина зависит от диаметра и находится в пределах от 50 до 100 мм. Сегменты выпускают внутренним диаметром 161, 222, 277, 327, 380, 430 мм, длиной 500 и 1000 мм, толщиной в зависимости от диаметра от 75 до 105 мм.

По средней плотности изделия разделяют на марки 250, 300 и 350 (табл. 3.17). Линейная температурная усадка изделий при температуре 600 °С не должна превышать 1,4 %, влажность изделий — 30 % по массе.

**Показатели физико-механических свойств перлитцементных изделий в зависимости от марки**

Таблица 3.17

Показатель	250	300	350
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	250	300	350
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при средней температуре, К: 298 ± 5 573 ± 5	0,070 0,116	0,076 0,122	0,081 0,128
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,23	0,25	0,28

Перлитцементные теплоизоляционные изделия служат для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 600 °С.

**Перлитофосфогелевые изделия** изготавливают из вспученного перлитового песка, жидкого стекла, ортофосфорной кислоты с добавкой армирующих волокнистых материалов (асбеста) или без них и гидрофобизирующей жидкости ГКЖ-10 или ГКЖ-11. Изделия выпускают с гидроизоляционно-упрочняющим покрытием (бумага мешочная или битумная, наклеенная битумом или другими водостойкими клеящими составами) или без него. Изделия с гидроизоляционно-упрочняющим покрытием предназначены для изоляции строительных конструкций с температурой изолируемой поверхности от -80 до +60 °С; изделия без покрытия — для огнезащиты и изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов с температурой поверхности до 600 °С.

По средней плотности изделия разделяют на марки 200, 250, 300. Теплопроводность изделий при средней температуре слоя 298 К в зависимости от марки колеблется от 0,064 до 0,082 Вт/(м · К); предел прочности при сжатии от 0,35 до 0,55 МПа.

Перлитофосфогелевые изделия выпускают в виде плит, полуцилиндров и сегментов. Размеры плит (мм): длина — 450, 500, 900 и 1000; ширина — 250, 450 и 500; толщина — от 40 до 100; полуцилиндров (мм): длина — 500, внутренний диаметр — от 57 до 159; тол-

щина — от 40 до 80; сегментов (мм): длина — 500; внутренний диаметр — от 219 до 426; толщина — от 50 до 80.

Недостатками этих изделий являются их хрупкость и низкая влажностойкость.

**Перлитокерамические изделия** изготавливают из вспученного перлитового песка и пластичной глины (50 %) путем формования, сушки и обжига. Глину применяют огнеупорную или бентонитовую.

Перлитокерамические изделия выпускаются в виде кирпича, плит, полуцилиндров и сегментов. Размеры кирпича, мм: 230 × 113 × 65; плит (мм): длина и ширина — 250 и 500, толщина — от 50 до 80; полуцилиндров (мм): длина — 500, внутренний диаметр — от 57 до 108, толщина — от 40 до 80; сегментов (мм): длина — 500, внутренний диаметр — от 133 до 219, толщина — от 40 до 80.

По средней плотности перлитокерамические изделия изготавливают марок 250, 300, 350, 400 (табл. 3.18).

**Показатели физико-механических свойств перлитокерамических изделий в зависимости от марки**

Таблица 3.18

Показатель	250	300	350	400
Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup> , не более	250	300	350	450
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при температуре, К: 298 ± 5 573 ± 5	0,075 0,122	0,081 0,130	0,092 0,140	0,104 0,150
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	0,3	0,5	0,7	1,0

Перлитокерамические изделия предназначены для тепловой изоляции оборудования и трубопроводов с температурой изолируемой поверхности до 875 °С.

Современной разновидностью перлитокерамических изделий являются **перлитодиатомовые изделия**. Здесь в качестве связующего используется диатомитовая глина.

Введение перлитового песка вместо хрупкой пены позволяет более чем в 2 раза сократить время сушки изделий и усадку при сушке (10—11 %). Высокая пористость изделий обеспечивается сочетанием трех способов: повышенного водозатворения, введения пористого заполнителя (вспученного перлитового песка) и воздуховлекающих добавок.

Для приготовления формовочной массы диатомитовый шликер относительной влажностью 72—78 % смешивают со вспученным перлитом в струнном смесителе. При этом для изготовления изде-

лий марок 300 и 350 берут диатомита 70 % (по массе) и вспученного перлитового песка 30 %, а для изделий марки 400 — диатомита 80 % и перлитового песка 20 %. Плотность формовочной массы должна быть (кг/м<sup>3</sup>): для изделий марок 300—350 — 700—800; для изделий марок 400—900—1000. Для получения изделий марки 300 (плотность менее 300 кг/м<sup>3</sup>) в состав массы вводятся корректирующие добавки: 11 %-ный раствор мочевиноформальдегидной смолы МФ-17 и 14 %-ный раствор смолы нейтрализованной воздухововлекающей (СНВ). Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> изделий приведен в табл. 3.19.

**Расход материалов на изготовление 1 м<sup>3</sup> перлитодиатомитовых изделий**

Таблица 3.19

Наименование	Расход на 1 м <sup>3</sup> изделий марок, кг		
	300	350	400
Диатомит	210	245	320
Перлит вспученный	90 (1,3 м <sup>3</sup> )	105 (1,5 м <sup>3</sup> )	80 (1,15 м <sup>3</sup> )
Мочевиноформальдегидная смола МФ-17 (сухой остаток)	0,1	—	—
СНВ (сухой остаток)	0,12	—	—

Кирпичи и плиты (блоки) формируют методом заливки формовочной массы с абсолютной влажностью 210—230 % (относительная влажность 68%) аналогично технологии изготовления пенодиатомитовых изделий либо в экструдере (Апрелевский опытный завод АО «Теплопроект»).

Перлитодиатомовые кирпичи «термосилипор» (ТУ5764-001-31850666—97) размером 250 × 123 × 65 мм применяют для изоляции промышленного оборудования с температурой до 900 °С. Технические характеристики приведены в табл. 3.20.

**Технические характеристики термосилипора**

Таблица 3.20

Показатель	Величина
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К) при температуре, °С:	0,105
	0,137
20	
300	
Предел прочности при изгибе, МПа	1—1,5
Объемная масса, кг/м <sup>3</sup> , не более	450

Легковесные огнеупорные перлитошамотные изделия (ГОСТ5040—96) изготавливают на основе вспученного перлитового песка (13—3 %), огнеупорной глины (16 %) и шамота (71—81 %).

По плотности перлитошамотные изделия делят на марки: 400, 500, 600, 700, 800 (табл. 3.21).

**Характеристика перлитошамотных огнеупорных изделий**

Таблица 3.21

Показатель	Марка				
	400	500	600	700	800
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	1,2	1,5	2	2,2	3
Теплопроводность при температуре 500 °С на горячей стороне, Вт/(м · °С), не более	0,21	0,23	0,25	0,29	0,35
Предельная температура применения, °С	1150	1200	1250	1250	1300

Технология изготовления перлитошамотных легковесных огнеупоров сходна с технологией изготовления перлитокерамических изделий. Формовочную массу относительной влажностью 33—50 % разливают в формы и направляют на сушку и обжиг. Время сушки до 14 ч, обжига — до 6 ч.

Для увеличения температуры применения легковесных огнеупоров до 1600 °С в сырьевую смесь вводят дистенсиллиманитовый концентрат или технический глинозем, повышающие огнеупорность изделий, в количестве 10—70 % по массе.

**Перлитобитумные материалы и изделия**

Промышленность выпускает два вида теплоизоляционных материалов на битумном связующем: перлитобитумные плиты и битумно-перлитовую массу.

**Перлитобитумные плиты** (ГОСТ16136—80), изготавливаемые из вспученного перлитового песка, битума, глины, асбеста и других добавок, служат для тепловой изоляции строительных конструкций и промышленного оборудования при температуре изолируемых поверхностей от —60 до +100 °С. Наиболее широко их применяют для изоляции кровель промышленных зданий. Размеры плит (мм): длина — 500, 1000; ширина — 500; толщина — 40, 50, 60.

По плотности перлитобитумные плиты подразделяют на марки 200, 225, 250 и 300. Теплопроводность плит при температуре (25 ± 3) °С (Вт/(м · °С)) не более: марки 200 — 0,076; марки 225 — 0,079; марки 250 — 0,082; марки 300 — 0,087. Предел прочности плит при изгибе не менее 0,15 МПа, марки 300 — не менее 0,19 МПа; прочность на сжатие при 10 %-ной деформации не менее 0,25 МПа. Влажность не более 4 % по массе; водопоглощение — не более 5 % по объему; морозостойкость — не менее 25 циклов.

Плиты трудногорючие при содержании битума ≤ 9 %, трудновоспламеняемые — при содержании битума 10—15 %.

Состав смеси перлитобитумных плит (% по массе): вспученный перлит марок 75 и 100 — 60—65; битум марок БНД-40/60 — 9—15;

высокопластичная или среднепластичная глина — 5—11; асбест марки П-6-45 — 15—20; клей КМЦ — 1,5 (% от массы сухих компонентов) или концентрат сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) — 3 (% от массы сухих компонентов); вода 250—300% от массы сухих компонентов. Общее содержание битума и глины в массе 20 %, причем в плитах с добавкой СДБ битума содержится 9 %, а глины — 11 %.

Плиты из битумно-перлитовой массы выпускают марки 400 с прочностью при сжатии 0,45 МПа, водопоглощением 2,7 % по объему за 24 ч.

**Битумно-перлитовую массу** изготовляют путем смешивания вспученного перлитового песка с горячим нефтяным битумом марок не ниже БН-70/30 (ГОСТ6617—76). Полученную массу укладывают на поверхности кровельных покрытий, стальных труб тепловых сетей при бесканальном способе прокладки или в формы для получения изделий и уплотняют в 1,6—2 раза. Соотношение битума марки БН-70/30 и вспученного перлита в зависимости от крупности перлитового песка 1 : (8—14) по объему, расход битума 140—160 кг, песка 1,5—1,7 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> уплотненной массы.

По плотности битумно-перлитовую массу делят на марки 350 и 500 (табл. 3.22).

#### Характеристика битумно-перлитовой массы марок 350 и 500

Таблица 3.22

Показатель	Марка 350	Марка 500
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,11	0,13
Предел прочности, МПа: при сжатии при изгибе	0,25	0,4
	0,1	0,2
Водопоглощение за 24ч, % по объему	5	3

Битумно-перлитовую массу в заводских условиях наносят на трубы.

Технологический процесс выполнения изоляции труб состоит из приготовления битумно-перлитовой смеси, подготовки и праймирования труб (покрытие труб смесью битума с бензином для защиты от коррозии) и нанесения смеси на трубы.

Вспученный перлитовый песок, поступающий из бункера, смешивают в течение 3 минут в растворосмесителе с расплавленным и обезвоженным при температуре 150—180 °С битумом. Высокосернистые битумы обессеривают для снижения коррозионного воздействия на трубы.

После перемешивания горячая битумно-перлитовая масса поступает в расходный бункер, откуда подается в пресс. Пресс представ-

ляет собой металлический цилиндр, внутренний диаметр которого равен диаметру трубы с выполненной изоляцией. Внутри цилиндра движется поршень, через который проходит изолируемая труба. При перемещении трубы подается битумно-перлитовая масса, которая прессуется поршнем. По выходе из прессующей машины трубу с битумно-перлитовой изоляцией покрывают защитными пленочными материалами (поливинилхлоридными, полиэтиленовыми и др.). Полиэтиленовую пленку иногда вспенивают в процессе нанесения методом экструзии для снижения теплопроводности конструкции. Производительность пресса до 120 м в смену.

Из битумно-перлитовой массы прессованием в металлических формах изготовляют также полуцилиндры для заделки стыков изолированных трубопроводов.

Битумно-перлитовую массу используют также для изоляции кровли. Для этого массу в горячем виде подают на кровлю, разравнивают ее и укатывают катками по аналогии с асфальтом.

Применение этого метода изоляции кровли ограничено остыванием массы в процессе ее транспортировки от завода до строительной площадки. В Германии эту проблему решили следующим образом. На заводе изготавливают обедненную битумом смесь с перлитом, причем битум наносят на поверхность перлитовых частиц во взвешенном состоянии. На строительной площадке перед укладкой в смесь добавляют растворитель, разравнивают и укатывают смесь до испарения растворителя.

**Эпсомперлит** получают обжигом отформованного путем проката или прессования материала под удельным давлением 0,2—0,5 МПа. Сырьевая смесь абсолютной влажностью 30—40 % по массе состоит из двух компонентов: вспученного перлитового песка и сернокислого магния (эпсомита) в соотношении 85 : 15 % по массе.

Сернокислый магний — сульфат магния  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  — получают кристаллизацией из природных рассолов. Изделия изготовляют в виде плит и скорлуп и применяют для изоляции оборудования, труб и различных тепловых агрегатов при температуре изолируемой поверхности до 800 °С. Физико-механическая характеристика эпсомперлита приведена в табл. 3.23.

На производство 1 м<sup>3</sup> эпсомперлита расходуют вспученного перлитового песка (насыпной плотностью 75 кг/м<sup>3</sup>) 190 кг, эпсомита — 77 кг.

Эпсомперлит огне- и биостоек, нетоксичен, стоек к циклическому воздействию высоких температур.

Термообработку плиты проходят в конвейерных печах, совмещающих процессы сушки и обжига. В процессе термообработки сульфат магния вступает в химическую реакцию с кремнеземом перли-



## Характеристика эпсоперлита

Таблица 3.23

Показатель	Величина
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	200–250
Прочность, МПа: при сжатии при изгибе	0,45–0,6 0,17–0,3
Теплопроводность, Вт/(м · °С), при средней температуре, °С: 25 125 300	0,067–0,08 0,081–0,093 0,112–0,123
Линейная температурная усадка, %, не более	0,8

та, образуя силикаты магния, обеспечивающие прочность изделий. Режим обжига: термообработка при 780 °С — 1 ч; охлаждение до 60 °С — 1 ч. Обожженные изделия поступают на склад готовой продукции. Технологии лигноперлита и эпсоперлита малоэнергоёмки и не имеют жидких отходов, поскольку влажность сырьевых смесей не превышает 40 %.

**Термоперлит** — теплоизоляционный материал, состоит из вспученного перлита и щелочных добавок. Технология изготовления термоперлита аналогична технологии эпсоперлита. Тепловую обработку отформованных изделий производят в конвейерной печи при температуре 570–580 °С, обеспечивающей спекание частиц вспученного перлита в течение 1,5 ч. Термоперлит имеет плотность 150–200 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии 0,2–0,5 МПа, при изгибе 0,15–0,25 МПа; теплопроводность 0,051–0,058 Вт/(м · °С). Максимальная температура применения 600 °С. Усадка при этой температуре не превышает 1,5 %.

Наибольшее применение термоперлит находит в судостроении и печестроении, хотя может быть применен и в строительстве.

Выпуск термоперлита освоен на Апрелевском опытном заводе теплоизоляционных изделий АО «Теплопроект».

**Плиты из перлитопластбетона** (ТУ480-1-145–91) получают вспениванием при тепловой обработке композиции, состоящей из тонкоразмолотой смеси следующих компонентов (% по массе): новолачная фенолоформальдегидная смола — 65; вспученный перлит — 25; добавка отвердителя (уротропина) — 8,5 и газообразователя (порофора) — 1,5 (% от массы смолы). Плиты используют для тепловой изоляции строительных конструкций в промышленности и сельском хозяйстве. Температура применения плит от +150 до –50 °С. Размеры плит (мм): длина — до 3000, ширина — до 1500, толщина — до 100. По плотности плиты из перлитопластбетона под-

разделяют на марки 100, 125, 150, 175 (табл. 3.24). Выпускают также панели плотностью 125 кг/м<sup>3</sup> с металлическими алюминиевыми обшивками (ТУ850-1-166–84).

## Характеристика плит из перлитопластбетона

Таблица 3.24

Показатель	Марка			
	100	125	150	175
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	100	125	150	175
Предел прочности, МПа: при сжатии при изгибе	0,12 0,18	0,15 0,23	0,18 0,25	0,2 0,3
Теплопроводность при средней температуре 25 ± 5 °С, Вт/(м · °С)	0,039	0,042	0,044	0,046
Водопоглощение, % по объему	11	10	8	8

Для тепловой изоляции (футеровки) промышленных печей, дымовых труб и других тепловых агрегатов промышленность выпускает **жароупорные теплоизоляционные перлитобетоны**, являющиеся разновидностью легких бетонов.

В состав перлитобетонов входят в качестве заполнителя перлитовый щебень и песок, а в качестве вяжущего — портландцемент, жидкое стекло или глиноземистый цемент. В зависимости от вида вяжущего температура применения таких бетонов 600–1000 °С: нижний предел — для бетонов на портландцементе и жидком стекле, верхний — для бетонов на глиноземистом цементе.

В бетоны на портландцементе и жидком стекле для придания жароупорных свойств дополнительно вводят тонкомолотые добавки — молотые вспученный перлитовый песок или шамот с размером частиц менее 0,1 мм. В бетоны на жидком стекле вводят отвердитель — кремнефтористый натрий или нефелиновый шлам (отход алюминиевой промышленности) в количестве 10–20 % от массы жидкого стекла.

Изготавливают бетоны плотностью 600–1000 кг/м<sup>3</sup>, основные свойства и состав которых приведены в табл. 3.25.

Перлитобетон может быть уложен и в виде монолита непосредственно в тепловом агрегате.

Использование жаростойкого перлитобетона позволяет уменьшить массу ограждения печей в 2–3 раза и снизить ее стоимость на 30–50 %.

Применяют также теплоизоляционные штукатурные составы на основе вспученного перлитового песка, гипсового и известкового вяжущих. Для приготовления 1 м<sup>3</sup> штукатурного перлитового раст-

Таблица 3.25

Вяжущее	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплопроводность при средней температуре (25 ± 5)°С, Вт/(м · °С)	Температура применения, °С	Вяжущее	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг		
						тонко-молотая добавка	вспученный перлит фракции, мм	
							5-10	1,25-5
Портландцемент	600	3	0,14	600	320	—	—	150
	700	4	0,16		40	40	—	80
	800	5	0,21		160	85	85	35
	1000	10	0,25		180	160	170	35
Глиноземистый цемент	650	3	0,14	1000	320	—	70	130
	800	5	0,18		270	260	214	56
Жидкое стекло	650	4,5	0,16	от 600 до 750	500	—	—	190
	850	6	0,21		410	300	300	70

вора расход материалов следующий: вяжущее (цемент, гипсовое, известковое) — 120—160 кг; вспученный перлитовый песок — 1,1—1,45 м<sup>3</sup>; неорганическое волокно (стеклянное, базальтовое) — 8—12 кг; вода — 350—400 л. Волокно вводят для повышения стойкости к трещинообразованию.

Применяют также фосфоперлитобетон, состоящий из огнеупорной глины, фосфатного связующего на основе ортофосфорной кислоты и вспученного перлитового песка. Формовочную массу пресуют на гидравлическом прессе под давлением 0,5—3 МПа, и затем она проходит термообработку при 300 °С в течение 4—8 ч. Фосфо-перлитобетон применяют для ремонта тепловых агрегатов, работающих до 1000 °С. Плотность фосфоперлитобетона 300—600 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при изгибе 0,3—2 МПа, теплопроводность — 0,08—0,11 Вт/(м · °С).

### 3.1.8. Вспученный вермикулит и изделия из него

**Вспученный вермикулит** — сыпучий зернистый материал чешуйчатого строения, получаемый в результате обжига природного вермикулита [5].

Природный вермикулит — минерал из группы гидратированных слюд, которые содержат не только гигроскопическую, но и кристаллизационную воду, входящую в состав кристаллической решетки минерала. Поэтому при нагревании вермикулит вспучивается за счет взрывообразного выделения воды. При этом он расщепляется на отдельные слюдяные пластинки, частично соединенные между собой. Вспучивание вермикулита приводит к увеличению его объема в 15—20 раз. Плотность породы вермикулита 2,05—2,71 г/см<sup>3</sup>; температура плавления 1300 °С.

Вспученный вермикулит (ГОСТ 12865—67) по насыпной плотности разделяется на марки 100, 150 и 200.

Цвет вспученного вермикулита блестящий, золотистый. По размеру зерен вермикулит делится на три фракции: крупный — с размером зерен от 5 до 10 мм; средний — с размером зерен от 0,6 до 5 мм; мелкий — с размером зерен до 0,6 мм. Теплопроводность вспученного вермикулита в зависимости от марки колеблется от 0,064 до 0,075 Вт/(м · К) (при температуре 298 К); влажность не более 3 % по массе.

Благодаря легкости и высокой температуростойкости (до 1100 °С) вспученный вермикулит применяют в качестве засыпной изоляции, для изготовления теплоизоляционных изделий, а также в качестве заполнителя в акустических штукатурках и легких бетонах. Кроме того, его используют для изоляции оборудования с температурой поверхности от -260 до +900 °С.

Из вспученного вермикулита путем добавки связующих веществ и асбеста получают безобжиговые (асбестовермикулитовые) и обжиговые (керамические) изделия. Для изготовления безобжиговых изделий с температурой применения до 600 °С в качестве связующего применяют глиняно-крахмальное вяжущее, жидкое стекло; для получения керамических изделий — бентонитовую глину, а для получения изделий, служащих для изоляции поверхностей с отрицательными температурами, — битумобentonитовое вяжущее и синтетические смолы.

**Асбестовермикулитовые изделия ФОВ** изготавливают на вышеперечисленных связующих и используют для изоляции поверхностей с температурой до 600 °С. По средней плотности такие изделия разделяются на марки 230, 250 и 280 (табл. 3.26).

**Показатели физико-механических свойств асбестовермикулитовых изделий ФОВ в зависимости от марки**

Таблица 3.26

Показатель	230	250	280
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	230	250	280
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при средней температуре (298 ± 5) К	0,087	0,087	0,087
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	0,1	0,1	0,1
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,17	0,18	0,18

Изделия выпускают в виде плит и полуцилиндров. Размеры плит (мм): длина — 1000, ширина — 500, толщина — 40, 50; полуцилиндров (мм): внутренний диаметр — 57, 70 при толщине 30 и 40; 75, 89, 108, 128, 133, 140, 159, 168, 188, 195, 219, 245, 279, 295 при толщине 50, 60, 70, длина — 500.

**Асбестовермикулитовые плиты АВХ-300 и АВХ-350** средней плотностью соответственно 300 и 350 кг/м<sup>3</sup> предназначены для изоляции поверхностей с отрицательными температурами. Размеры плит (мм): длина — 1000; ширина — 500; толщина — 40 и 50. Влажность плит не более 5 %; содержание органического связующего 15—25 %; гигроскопичность не более 7 %; морозостойкость не менее Мрз 25; теплопроводность при средней температуре слоя 293 К, Вт/(м · К), не более: для АВХ-300 — 0,093 и для АВХ-350 — 0,097; предел прочности при изгибе, МПа, не менее: для АВХ-300 — 0,2, для АВХ-350 — 0,23.

На основе вспученного вермикулита изготавливают битумно-вермикулитовую изоляцию, свойства которой аналогичны свойствам битумно-перлитовой изоляции. Технология изготовления битумно-

вермикулитовой массы и способ ее нанесения на трубу также аналогичны.

Изготавливают также теплоизоляционные плиты на жидком стекле и огнеупорной глине плотностью до 400 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводностью 0,07—0,090 Вт/(м · °С). Состав смесей следующий (% по массе):

*плиты на жидком стекле:* вспученный вермикулит — 59, асбест 5-й группы — 7,5; диатомит (или трепел) — 7,5; жидкое стекло — 22,3; кремнефтористый натрий — 3,7;

*плиты на огнеупорной глине:* вспученный вермикулит — 50, огнеупорная глина — 50.

### 3.1.9. Пеностекло

**Пеностекло** — высокопористый материал, состоящий из воздушных ячеистых пор, разделенных перегородками из стекловидного вещества. Пеностекло — материал высокой пористости (80—95 %) с замкнутыми или сообщающимися между собой порами [65].

В основе промышленного производства пеностекла лежит спекание стекольного порошка в смеси с газообразователем, отжиг получившихся изделий для снятия внутренних температурных напряжений и их обрезка.

Кроме порошкового способа получения пеностекла известны также: 1) вспучивание расплавленной стекломассы воздухом или газом; 2) вспенивание перед спеканием с охлаждением («на холоде») измельченного стекла пенообразующими веществами и закрепление полученной ячеистой структуры стабилизаторами (например, 3—4 %-ным жидким стеклом); 3) вспенивание размягченного стекла под вакуумом.

Пеностекло как теплоизолятор замкнуто-пористой структуры, вобрав в себя все положительные качества многих теплоизоляционных материалов, лишено ряда их отрицательных свойств: при сравнительно низкой средней плотности (100—300 кг/м<sup>3</sup>) оно имеет высокую пористость (80—95 %), обладает достаточно высокой прочностью на сжатие (не менее 0,8 МПа) и низкой теплопроводностью (0,045—0,085 Вт/м · °С). Водопоглощение по объему — не более 6 %. Значительным преимуществом является его 100 %-ный неорганический состав. Как и всякое стекло, пеностекло устойчиво к воздействию гнили, различных микроорганизмов, насекомых, грызунов, совершенно не горит, не выделяет вредных веществ, не впитывает влагу и потому не изменяет коэффициент теплопроводности в условиях эксплуатации, экологически чисто и долговечно.

Пеностекло (РСТ БССР 665—82) выпускают в виде блоков размерами (мм): длина — от 200 до 475 с интервалом 25; ширина — от

125 до 400 с интервалом 25; толщина — 60, 80, 100 и 120. Средняя плотность не более  $230 \text{ кг/м}^3$ ; предел прочности при сжатии не менее  $0,7 \text{ МПа}$ ; теплопроводность при средней температуре слоя  $298 \text{ К}$  не более  $0,090 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ; водопоглощение по объему не более  $6 \%$ .

Блоки транспортируют без тары, уложенными на ребро в железнодорожных вагонах, крытых автомашинах, с заполнением пустот древесной стружкой. Хранят их в условиях, не допускающих увлажнения.

Применяют блоки из пеностекла для изоляции поверхностей с температурами от  $-200$  до  $+400 \text{ }^\circ\text{C}$  при относительной влажности до  $96 \%$ . Материал негорючий, поэтому его используют для изоляции изотермических резервуаров, предназначенных для хранения сжиженных природных газов (бутана, пропана, метана).

Из зарубежных аналогов наиболее эффективным считается пеностекло, производимое фирмой «Pittsburg Corning» под фирменным знаком «Foamglas».

Для тепловой изоляции используют пеностекло с мелкими замкнутыми порами, для звукопоглощения — пеностекло с сообщающимися между собой более крупными порами.

### 3.1.10. Ячеистые бетоны: пенобетон и газобетон

Ячеистые бетоны — искусственный камневидный материал с равномерно распределенными порами в виде ячеек диаметром  $1\text{--}2 \text{ мм}$ , получаемый в результате затвердевания предварительно вспученной с помощью порообразователей смеси вяжущего вещества, кремнеземистых компонентов и воды [61, 64].

В зависимости от вяжущего материала ячеистые бетоны бывают цементные и силикатные.

По способу образования пористой структуры ячеистые бетоны подразделяются на пенобетоны, получаемые способом пенообразования пор, и газобетоны, получаемые способом газообразования пор. В качестве газообразователей используют алюминиевую пудру, в качестве пенообразователей — смолосапониновый, клееканифольный и другие составы. При применении газообразователей поры получают открытые (сообщающиеся) и закрытые, при применении пенообразователей — в основном закрытые.

Поры ячеистых бетонов могут быть заполнены только воздухом. Если же поры заполнены зернистыми материалами — перлитом, керамзитом, вермикулитом, то такие бетоны называются легкими.

По способу твердения ячеистые бетоны делятся на бетоны естественного твердения в атмосферных условиях и искусственного твердения в автоклавах при обработке водяным насыщенным паром давлением от  $0,9$  до  $1,3 \text{ МПа}$  и температурой  $175\text{--}190 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Ячеистые бетоны изготавливают армированными и неармированными.

Пенобетон получают, смешивая цементное тесто или раствор с устойчивой пеной. Пену готовят в пенообразователях путем перемешивания порообразующего материала с водой.

Газобетон изготавливают, добавляя непосредственно в растворную смесь газообразователь — алюминиевую пудру в виде водно-алюминиевой суспензии. Сразу же после перемешивания газобетонную смесь выливают в формы, где цементное тесто вспучивается. Затвердевая, цементное тесто сохраняет пористую структуру.

Ячеистые бетоны все активнее внедряются в практику строительства. По своим экологическим свойствам ячеистый бетон приближается к дереву, так как «дышит», регулируя влажность в помещении. Он не гниет, имеет низкое содержание естественных радионуклидов и отвечает самым высоким санитарно-гигиеническим требованиям для строительства. Он не горит. Материал легко пилится, режется и сверлится.

В качестве кладочных растворов для ячеистых бетонов следует использовать цементно-перлитовые смеси либо смеси цемента с диатомитовой крошкой.

## 3.2. Органические теплоизоляционные материалы и изделия

### 3.2.1. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе органического сырья

Большинство теплоизоляционных материалов на основе органического сырья (отходы деревообработки и лесопиления, неделовая древесина, камыш, солома, копра и другие отходы промышленности и сельского хозяйства) изготавливают в виде плит и блоков [34, 38, 65].

Годовой выпуск пиломатериалов в нашей стране превышает  $5000 \text{ млн м}^3$ , при этом образуется около  $15 \text{ млн м}^3$  реек, горбылей и обрезков.

Кусковые отходы лесопиления, получаемые из наиболее ценной части древесины, — замечательное сырье для изготовления не только древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит. Из этих отходов можно получать клееные заготовки и щиты для строительных конструкций, наполнителей для фибролита и арболита.

Древесно-волоконистые теплоизоляционные изделия (ГОСТ 4598) изготавливают в виде крупноразмерных плит или листов (табл. 3.27) из древесного сырья, которое последовательно измельчают в волокнистую массу, формуют и подвергают тепловой обработке.

**Основные показатели древесно-волокистых плит**

Таблица 3.27

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Размеры, мм			Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	Предел прочности при изгибе, кг/см <sup>2</sup>
	длина	ширина	толщина		
150	1200–3000	1200–1600	12,5; 16; 25	0,04	4–6
200				0,05	8–10
250				0,06	12–15
300			8; 12,5; 25	0,07	17–20
350				0,08	21–25

Древесные плиты обладают повышенной гигроскопичностью и водопоглощением. Они легко воспламеняются и могут долго тлеть. Эта способность выражена у древесно-волокистых плит сильнее, чем у естественной древесины.

**Древесно-стружечные теплоизоляционные плиты** изготавливают горячим прессованием массы, содержащей около 90 % органического волокнистого сырья (чаще всего специально приготовленной древесной стружки) и 8–10 % синтетических смол (фенолоформальдегидной или мочевиноформальдегидной). Для улучшения свойств плит в сырьевую массу добавляют гидрофобизирующие вещества, антисептики и антипирены. Плиты бывают одно- и многослойные, сплошные и многупустотные. Прочность древесно-стружечных плит гораздо выше, чем аналогичных древесно-волокистых плит (табл. 3.28).

**Основные показатели древесно-стружечных плит**

Таблица 3.28

Вид плит	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при изгибе, кг/см <sup>2</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)
Легкие	250–400	30–80	0,045–0,07
Полутяжелые	400–800	80–120	0,07–0,09
Тяжелые	800–1200	120–150	0,09–0,12

Плиты изготавливают толщиной 10, 13, 16, 19, 22 и 25 мм, длиной 3500 мм, шириной 1500 и 1700 мм. Гигроскопическая влажность плит 7–8 %, а водопоглощение их может изменяться от 20 до 80 %.

Технико-экономическое сопоставление по капитальным и эксплуатационным затратам подтверждает преимущество древесно-стружечных плит перед древесно-волокистыми.

Известны работы по изготовлению теплоизоляционных материалов из измельченного органического сырья без добавления связующих: получены твердые теплоизоляционные плиты из пылевидных отходов камыша. В основу технологии их изготовления была положена способность измельченного камыша при нагревании под давлением в закрытой пресс-форме частично гидролизироваться и выделять химические соединения, которые при остывании образуют неплавкие и нерастворимые продукты, выполняющие функции связующих.

**Торфяные теплоизоляционные материалы** выпускают в виде плит, а также скорлуп и сегментов для тепловой изоляции труб. Подобные изделия выпускают из сфагнового торфа. Для повышения качества торфяных плит к торфяной массе во время ее варки иногда добавляют до 10 % древесного волокна. Размеры торфяных плит, мм: длина 12 000, ширина 500, толщина 30.

Плиты торфяные могут быть обыкновенными и специальными с повышенной водостойкостью и биостойкостью или с меньшей степенью сгораемости. Такие плиты называются водостойкими (В), биостойкими (Б) и трудносгораемыми (Т). Плотность плит, кроме водостойких, не более 170 кг/м<sup>3</sup>, прочность при изгибе не ниже 3 кгс/см<sup>2</sup>, а коэффициент теплопроводности 0,05–0,07 Вт/(м · К).

В увлажненном состоянии, особенно при хранении в штабелях, торфяные плиты могут проявлять склонность к микробиологическому самовозгоранию.

Существенно повысить строительно-эксплуатационные свойства теплоизоляционных изделий на основе и с использованием торфа удалось в Твери группе специалистов под руководством П.А. Вязовченко.

Прежде всего было создано связующее из торфа: просеянный на вибросите торф поступает в смеситель, сюда же подается определенное количество воды, из которых получается вяжущее вещество в виде пасты. Затем паста вместе с наполнителем (опилки, солома, стружка, льнокостра и др.) перемешивается до однородной массы, из которой прессуют сырые блоки, сушка которых может происходить как на открытом воздухе, так и в тепловой камере.

Теплоизоляционные изделия в виде блоков и кирпичей, выпускаемых в соответствии с техническими условиями «Блоки стеновые и плиты теплоизоляционные на основе торфяного связующего, ТУ 6768-001 03083434», получившие название «Геокар», характеризуются следующими свойствами: плотность 250–500 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 0,066–0,083 Вт/(м · К), предел прочности при сжатии 8–12 кгс/см<sup>2</sup>, размеры 51 × 25 × 8,8 см (сменные матрицы позволяют изготавливать блоки других размеров).

Стены из торфодревесных блоков с технологическими пустотами, заполненными раствором, и облицовкой в полкирпича (Тип П) по прочностным и деформационным показателям могут быть применены при строительстве до 10 этажей с расчетным сопротивлением сжатию кладки, равным 5 кг/см<sup>2</sup>. При марке блоков 8—12 (прочность на сжатие 8—12 кг/см<sup>2</sup>) не только не выделяет вредных веществ, но и является прекрасным адсорбентом. Например, уровень радиации в помещении из торфа снижается в 5 раз. В помещении сохраняется устойчивый влажный режим, постоянная температура. На Бежецком опытно-экспериментальном заводе в Тверской области отработана технология изготовления «Геокара», разработано оборудование по производству этого материала. Оно может размещаться в любых существующих зданиях с положительной температурой. Предлагается поставка этого оборудования «под ключ» и полное сервисное обслуживание.

В Твери, Вологде, Великом Новгороде, Тюмени, Бежецке, Свердловской и других областях блоки «Геокар» применяются в строительстве не только коттеджей, но и многоэтажных зданий и сооружений различного назначения.

**Фибролит** — плитный теплоизоляционный материал, получаемый из древесной шерсти (лентообразной древесной стружки), отформованной под прессом, в смеси с портландцементом или магнезиальным вяжущим. Известен также фибролит гипсовый и битуминозный. Наиболее распространен цементный фибролит (табл. 3.29).

#### Основные показатели фибролита

Таблица 3.29

Марка плит (ГОСТ 8928)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при изгибе, кг/см <sup>2</sup>	Кэфф. теплопроводности, Вт/(м·К)	Размеры плит, мм		
				длина	ширина	толщина
300	300	4—6	0,08—0,085	2000—2400	500—550	25; 50; 75; 100
350	350	5—7	0,09—0,095			
400	400	7—10	0,1—0,11			
500	500	12—15	0,125—0,13			

Цементный фибролит не горит (но способен тлеть), не подвержен гниению. Применяется как теплоизоляционный материал.

Фибролит на магнезиальном и магнезиально-доломитовом вяжущем должен отвечать требованиям ОСТ НКТП 8435/488.

**Теплоизоляционный материал на основе целлюлозы.** Для изготовления эковаты в качестве сырья в основном используется макулатура: около 80 % — газетная бумага, до 25 % — нелетучие антипирены, в качестве которых чаще всего применяются борная кислота и бура.

**Эковата** выпускается в виде мягких хлопьев, в том числе затаренных в мешки, а также в виде матов [27].

Технология изготовления: газетная макулатура измельчается, перемешивается со смесью порошкообразных химикатов и упаковывается в целлофановые или бумажные мешки размером 103 × 53 × 19 см и весом 15—17 кг. Плотность эковаты в мешках 140—160 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности 0,045—0,049 Вт/(м·К).

Эковата является экологическим чистым, а также достаточно огнестойким, влагостойким и биостойким материалом, что позволяет широко использовать ее в качестве теплоизоляционного материала в слоистых ограждающих конструкциях стен, покрытий и перегородок.

Кроме того, эковата может применяться путем нанесения на изолируемую поверхность в виде жидкого состава с использованием типовых выдувных устройств компрессорного или центробежного типа. Производительность компрессорной установки около 800 кг/ч, она может подавать смесь на высоту до 30 м и на расстояние до 150 м. Центробежные установки менее мощные. Их производительность порядка 600 кг/ч, а расстояние подачи смеси почти вдвое меньше, чем у компрессорных.

Наиболее применяемый состав К-30, состоящий из эковаты и клея КМЦ. Он может применяться для теплоизоляции стен производственных и жилых помещений, школ, спортивных залов, театров, студий звукозаписи и др. Подходит К-30 и для теплоизоляции крыш под гидроизоляцию.

К-30 может успешно применяться и в качестве жидких обоев. Толщина слоя в этом случае составляет 0—55 мм. Плотность полученного покрытия составляет 50—70 кг/м<sup>3</sup>, а коэффициент теплопроводности 0,045 Вт/(м·К).

Свеженанесенное покрытие из эковаты можно разровнять валиком или придать ему декоративный рельеф. Высохшие поверхности можно красить или покрывать следующим слоем изоляции.

Промышленное производство эковаты организовано в Москве, Московской области, Чебоксарах, Канахе и других районах России. За рубежом эковата применяется более чем 50 лет (США, Канада, Финляндия и другие страны).

На применение этого материала имеются лицензии, гигиенический сертификат РФ, разрешение Государственного пожарного надзора.

К числу других известных теплоизоляционных материалов, изготавливаемых на основе местного органического сырья (отходы лесопиления, деревообработки и др.), можно отнести **арболит**, изготавливаемый из размельченного органического заполнителя и вяжущего. В отличие от фибролита, для приготовления которого

требуется преимущественно специальная древесная шерсть, арболит может быть изготовлен на органических заполнителях различного происхождения и с различной формой частиц (измельченные отходы лесопиления и деревообработки, костры, соломы, тростника и др.). В качестве связующих возможно применение цемента, гипса, ГЦПВ и синтетических смол. Название «арболит» (от греческих «арбо» — дерево и «литос» — камень) в свое время точно выражало его сущность как одного из видов легкого бетона, изготавливаемого из древесной дробленки на цементном вяжущем.

Для широкого его выпуска имеется прочная сырьевая база в виде неиспользуемых твердых отходов самых разнообразных производств: на лесозаготовках объем неиспользуемой древесины превышает 3 млн м<sup>3</sup> в год. Заводы дубильных экстрактов выбрасывают в отвалы каждый год 0,5 млн т отдушины. Отходы стеблей хлопчатника на полях Средней Азии и Азербайджана достигают почти 5 млн т ежегодно. Если переработать на местах в арболит только треть этих ресурсов, строительство получит дополнительно сотни тысяч кубометров строительных изделий и конструкций. По техническим условиям (МРТУ 21-5-64) арболит обладает прочностью на сжатие 5, 10, 15, 25 и 35 кгс/см<sup>2</sup>. Изделия из арболита могут быть армированными и неармированными, а по назначению — теплоизоляционными (плотность до 500 кг/м<sup>3</sup>) и конструктивными (более высокая плотность). Механическая прочность арболита на сжатие 5—35 кгс/см<sup>2</sup>, водопоглощение колеблется от 30 до 80 % по массе, коэффициент теплопроводности 0,08—0,23 Вт/(м·К).

В зависимости от марки и объемной массы конечной продукции для изготовления 1 м<sup>3</sup> нужно израсходовать: 0,5—0,6 м<sup>3</sup> (в плотном состоянии) древесной дробленки, либо 250—300 кг отдушины, либо 200—320 кг камыша, костры, от 170 до 400 кг портландцемента марки 400 и до 8 кг (в пересчете на сухое вещество) хлористого кальция или жидкого стекла.

Основная продукция арболитовых цехов — крупные стеновые блоки и навесные стеновые панели. Кроме того, выпускаются объемные элементы, перегородочные плиты и теплоизоляционные плиты совмещенных покрытий жилых домов.

Сведения о других теплоизоляционных материалах и конструкциях, изготавливаемых на основе или с использованием органического сырья, изложены в [14, 15, 21, 22, 34].

### 3.2.2. Теплоизоляционные пластмассы

**Теплоизоляционные пластмассы** — высокопористые газонаполненные материалы, получаемые различными способами из синтетических

смолистых смол либо из материалов, изготовленных с применением синтетических смол [22, 70].

**Материалы для изготовления теплоизоляционных пластмасс.** Для изготовления теплоизоляционных пластмасс применяют гермопластичные и терморезистивные полимеры (смолы), газообразующие (вспенивающие) вещества, отвердители, а также добавки, улучшающие свойства материалов (например, пластификаторы, придающие материалам пластичность; катализаторы, ускоряющие химические процессы образования пластмасс).

Термопластичные полимеры обладают свойством размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении. К таким полимерам относятся полистирольные, поливинилхлоридные и др.

Терморезистивные полимеры, однажды затвердев (заполимеризовавшись), не способны снова размягчаться при повышении температуры. К ним относятся фенолоформальдегидные, карбамидные, полиуретановые полимеры и др.

Газообразующие вещества, создающие пористое строение газонаполненных пластмасс, бывают твердые, жидкие и газообразные. К твердым газообразователям относятся органические вещества (порофоры), выделяющие при разложении в процессе нагревания газы N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> и др. Промышленность выпускает порофоры марок ЧХЗ-57, ЧХЗ-21, ДАБ. Жидкими газообразователями служат легкокипящие жидкости (бензол, ксилол, толуол, фреоны), которые вспенивают полимер при нагревании их до температуры кипения. К газообразным вспенивающим веществам относятся азот, воздух, инертные газы.

**Способы изготовления теплоизоляционных пластмасс.** Теплоизоляционные пластмассы изготавливают прессовым, беспрессовым способами, способом заливки и напыления на изолируемую поверхность.

*Прессовый способ* состоит из следующих операций: смешивания смолы с газообразователями и другими компонентами, прессования полученной массы в пресс-формах при повышенной температуре (120—180 °С) и давлении 12—20 МПа и вспенивания полученной заготовки в свободном состоянии (без пресс-форм) при нагревании паром, водой или горячим воздухом до температуры 85—20 °С (в зависимости от вида полимера и марки материала, которую хотят получить).

*Беспрессовый способ* включает в себя смешивание смолы с газообразователем, отвердителем и другими компонентами и тепловую обработку смеси в формах для размягчения полимера и разложения газообразователя, вспенивания массы и ее отверждения.

*Способ заливки* заключается в смешивании массы, состоящей из смолы, газообразователя, отвердителя и других компонентов, залив-



ке ее в форму, вспенивании за счет разложения газообразующих веществ вследствие повышения температуры смеси за счет теплоты, выделяемой при химической реакции, и отверждении массы.

При способе напыления компоненты смешивают в специальной машине и эту массу наносят тонким слоем на изолируемую поверхность. Нанесенная масса вспенивается за счет выделения газообразующих веществ. Газообразующие вещества выделяются в результате нагревания композиционной смеси в процессе химической реакции, происходящей в ней. Затем масса застывает в виде пористого материала.

**Классификация пластмасс.** В зависимости от характера пористости теплоизоляционные пластмассы подразделяются на ячеистые или пенистые (пенопласты) и пористые (поропласты).

**Пенопласты**, получаемые вспениванием исходной пластмассы, имеют вид застывшей пены. Ячейки пенопластов не сообщаются между собой и заполнены воздухом или газом.

**Поропласты** отличаются от пенопластов тем, что имеют сообщающиеся между собой полости, которые заполнены газом. Практически в материалах одновременно присутствуют замкнутые и открытые поры.

**Основные свойства пластмасс.** Технология производства теплоизоляционных пластмасс позволяет получать материалы с различными свойствами. В зависимости от вводимых в них компонентов и способа получения средняя плотность их может колебаться от 10 до 250 кг/см<sup>3</sup>, соответственно и теплопроводность изменяется от 0,035 до 0,064 Вт/(м·К).

Теплоизоляционные пластмассы могут изготавливаться жесткими и эластичными.

Пластмассы всех видов дают значительную деформацию при сжатии. Поэтому различают предел прочности при сжатии у жестких пластмасс (пенополистирола марок ПС-1 и ПС-4, фенолоформальдегидных марок ФРП-1, ФФ и др.) и предел прочности при 10 %-ном сжатии у деформирующихся пластмасс (пенополистирол марки ПСБ, эластичные пенополиуретаны). Предел прочности при сжатии зависит от вида пенопласта, структуры, средней плотности и находится в пределах от 0,02 (мипора марки 10) до 3 МПа (пенопласты на основе фенолоформальдегидных смол средней плотности 200 кг/м<sup>3</sup>). Предел прочности при изгибе примерно в тех же пределах.

Теплоизоляционные пластмассы с закрытыми порами обладают меньшим водопоглощением, паро-, водо- и воздухопроницаемостью, чем волокнистые материалы. Поэтому пластмассы в основном применяют для изоляции поверхностей с отрицательными температурами.

Большинство пластмасс относится к группе сгораемых материалов, и только часть из них — к группе трудносгораемых (ФРП-1, ПСБ-С; пеноизол, пенополиуретан ППУ-3С — самозатухающий материал).

Теплоизоляционные пластмассы применяют в качестве звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов. Хорошей звукопоглощающей способностью обладают поропласты (с открытыми порами).

### **Пенопласты на основе полистирола (пенополистирол)**

Пенопласты на основе полистирола (пенополистирол) изготавливают прессовым способом (ПС), беспрессовым способом (ПСБ), экструзионным способом, а также литьем под давлением [70].

Сырьем для изготовления пенопластов марок ПС служат эмульсионный полистирол марки Б (в виде порошка) и порофоры, а для изготовления пенопласта вида ПСБ — суспензионный, состоящий из отдельных гранул.

Отличие беспрессового способа изготовления пенопластов ПСБ от вышеизложенного состоит в том, что готовые гранулы полистирола вспучиваются и свариваются между собой в форме при нагревании водой или паром с температурой 80—100 °С.

Экструзионный и прессовый способы не получили широкого распространения в качестве строительного утеплителя.

Полистирольные пенопласты — сгораемый материал; при добавлении к ним антипиренов получают трудносгораемый материал (вид ПСБ-С).

Полистирольные пенопласты имеют в основном закрытые поры. Такие пенопласты стойки к действию пресной и морской воды, кислот, щелочей, спиртов, но нестойки к действию органических растворителей (бензола, бензина и других нефтепродуктов).

Полистирольные пенопласты выпускают в виде плит марок ПС-1, ПС-4 (ТУ 6-55-56-91) и ПСБ, ПСБ-С (ГОСТ 15588-86), а также криволинейных элементов (скорлуп) для трубопроводов (см. табл. 3.30).

Размеры плит видов ПСБ и ПСБ-С (мм): длина — от 900 до 2000 с интервалом 50; ширина — от 500 до 1200 с интервалом 50; толщина — 25, 33, 50, 100.

Размеры скорлуп для изоляции трубопроводов СК (мм): внутренний диаметр — 27, 40, 59, 78, 91, 110, 135, 161, 221, 275; наружный диаметр — 125, 156, 175, 200, 215, 245, 270, 300, 375, 435; длина — 500—1000. Скорлупы имеют сложную форму: с одной стороны уменьшен диаметр скорлупы, с другой стороны в скорлупе сделана вырезка, в которую при монтаже входит часть сле-

**Показатели физико-механических свойств плит  
из полистирольных пенопластов в зависимости от марки**

Таблица 3.30

Показатель	ПС-1-70	ПС-1-100	ПС-1-150	ПС-1-200	ПС-4-40	ПС-4-60	ПС-4-65	Плиты видов ПСБ и ПСБ-С марки:			
								20	25	30	40
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	70	100	150	200	40	60	65	20	25	30	40
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	0,3	0,8	1,5	3,0	0,17	0,3	0,4	0,05	0,07	0,10	0,15
								При 10 %-ной линейной деформации			
Предел прочности при статическом изгибе, МПа, не менее	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,1	0,13	0,18
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более	0,3			0,6	0,5	0,3	5	4	3	2	
	В % по объему										
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м · К) при 298 К, не более	0,042	0,047	0,052	0,058	0,041	0,042	0,042	0,041	0,041	0,038	0,038
Температура применения, °С	От -180 до +70										
Способ изготовления	Прессовый						Беспрессовый				

дующей скорлупы с уменьшенным диаметром. Это обеспечивает отсутствие вертикальных швов между скорлупами в процессе эксплуатации. Выступы и вырезки сделаны также по длине скорлуп. Влажность скорлуп 1,5 % по объему.

Пенополистиролы применяют для изоляции промышленного оборудования и трубопроводов с температурой изолируемой поверхности от -180 до +70 °С, а также строительных ограждающих конструкций.

Изделия из пенополистирола транспортируют в деревянных ящиках или обрешетках, обеспечивающих их сохранность от механических повреждений. Изделия хранят отдельно по маркам и размерам в закрытых проветриваемых складах или под навесами с соблюдением соответствующих мер противопожарной безопасности.

В последние годы все большее распространение получают так называемые **экструдированные пенополистиролы**. Такие отечествен-

ные материалы получили фирменное название **экспол, пеноплекс, экстрапен**.

Экструдированные пенополистиролы имеют закрытую пористую структуру с размером пор 0,1—0,2 мм и практически не имеют пустот, способных поглощать влагу. Материал в связи с этим мало гигроскопичен, у него низкая теплопроводность и высокая прочность при сжатии. Эти материалы обладают высокой прочностью, хорошо воспринимают динамические нагрузки. Во влажной среде теплотехнические и физические свойства этих материалов изменяются незначительно, поэтому их можно применять в экстремальных термовлажностных условиях.

Плиты «экспол» и «пеноплекс» (табл. 3.31) применяют при строительстве и реконструкции зданий, для теплоизоляции крыш, перекрытий, стен домов и подвалов, при строительстве автомагистралей, железных дорог, аэродромов и т. д.

**Основные технические характеристики плит «пеноплекс»**

Таблица 3.31

Показатель	Ед. изм.	Плиты Тип 35	Плиты Тип 45
Плотность, не менее	кг/м <sup>3</sup>	29,5–38,5	38,6–50
Прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации, не менее	МПа	0,29–0,48	0,5
Предел прочности при статическом изгибе	МПа	0,6–0,7	0,4–0,7
Водопоглощение за 24 часа, не более	% по объему	0,1	0,2
Категория стойкости к горению	-	Г1	Г4
Диапазон рабочих температур	°С	от -50 до +75	от -50 до +75

**Пенопласты на основе поливинилхлорида**

**Поливинилхлорид** — термопластичный полимер, содержащий до 56,8 % связанного хлора, что обеспечивает его пониженную горючесть по сравнению с полистиролом и позволяет отнести его к группе трудносгораемых и трудновоспламеняемых материалов [65].

Пенопласты на основе поливинилхлорида изготавливают прессовым (жесткие пенопласты ПВХ-1, ПВХ-2, эластичные ПВХ-Э) и беспрессовым (жесткий пенопласт ПВ-1) способами. В качестве полимера используют латексные поливинилхлориды марок ПВХ-Л5, ПВХ-Л7 и т. д., в качестве газообразователей — порофор ЧХЗ-57, углекислый аммоний и бикарбонат натрия. Чтобы изготовить эластичные пенопласты, вводят пластификаторы.

При применении для тепловой изоляции пенопластов из поливинилхлорида может возникнуть коррозия изолируемых ме-

таллических поверхностей в результате выделения хлор-ионов, которые могут образовываться из-за частичного разложения полимера, содержащего хлористые соединения. Поэтому эти пластмассы испытывают на содержание свободного хлор-иона.

**Пенопласт ПХВ** обладает жесткой замкнутоячейистой структурой. Цвет — от белого до желтого. Стоек к воздействию нефти и керосина. Трудногораемый материал. Промышленность выпускает пенопласт ПХВ-1 средней плотностью 85—115 кг/м<sup>3</sup> и ПХВ-2 средней плотностью 150—195 кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность колеблется от 0,035 до 0,058 Вт/(м·К); водопоглощение за 24 ч не более 4%. Пенопласт ПХВ выпускают в виде плит размером 650 × 650, 620 × 620 мм; толщиной от 35 до 70 мм. Используют его в качестве тепловой изоляции при температуре изолируемой поверхности от -180 до +60 °С. Из плит пенопласта ПХВ нарезают сегменты, из которых путем склеивания можно изготавливать полуцилиндры для изоляции трубопроводов.

**Пенопласт эластичный ПВХ-Э** имеет равномерную, замкнутоячейистую структуру. Цвет — от белого до слоновой кости. Трудногораемый материал. Средняя плотность 125—225 кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность 0,046—0,07 Вт/(м·К). Пенопласт ПВХ-Э выпускают пластинами размером 700 × 700, 550 × 550 мм; толщиной 43 и 37 мм. Применяют для тепловой изоляции оборудования и трубопроводов диаметром более 325 мм при температуре изолируемой поверхности от -180 до +60 °С.

**Пенопласт ПВ-1** имеет замкнутопористую структуру. Цвет пенопласта — от белого до светло-коричневого. Трудногораемый материал. Для целей изоляции применяют пенопласт средней плотностью 65 и 95 кг/м<sup>3</sup>. Пенопласт выпускают в виде плит, из которых путем нарезания сегментов и их склеивания можно изготавливать полуцилиндры для изоляции трубопроводов. Размеры плит (мм): 650 × 650; 550 × 550; 200 × 200; толщина — 45 и 55. Применяют для тепловой изоляции оборудования, трубопроводов с температурой изолируемой поверхности от -80 до +70 °С.

Изделия из поливинилхлоридного пенопласта упаковывают в деревянные ящики или обрешетки, транспортируют в вагонах или других закрытых транспортных средствах. Хранят в закрытых проветриваемых складах при температуре не выше 35 °С на расстоянии не менее 1 м от отопительных приборов или под навесом.

### **Пенопласты на основе полиуретанов (пенополиуретаны)**

Пенопласты на основе полиуретанов (пенополиуретаны) получают в результате сложных реакций, протекающих при смешивании

полиэфира, диизоцианата или полиизоцианата, вспенивающего агента в присутствии катализатора, эмульгатора и добавок. Изменяя состав смеси, можно получать пенополиуретаны с различными свойствами [39].

Полиэфиры применяют простые и сложные. По виду полиэфира получают жесткие или эластичные пенополиуретаны. Диизоцианат — вещество, содержащее уретан. Катализаторы регулируют реакцию образования полиуретана, его вспенивание и отверждение. Эмульгаторы — поверхностно-активные вещества, позволяющие получить равномерную структуру пенополиуретана, однородного по свойствам. В качестве добавок при изготовлении пенополиуретана применяют газообразователи — вещества, обеспечивающие пористость материала, антипирены, повышающие его огнестойкость, и красители.

Пенополиуретан изготавливают непрерывным способом, а также способами заливки и напыления. Промышленность выпускает различные эластичные и жесткие пенополиуретаны.

**Полиуретановый эластичный поропласт ППУ-Э** изготавливают путем взаимодействия сложного полиэфира П-2200 с диизоцианатом в присутствии соответствующих добавок. Для получения пенополиуретана со свойствами самозатухания к этим компонентам добавляют трихлорэтилфосфат.

ППУ-Э имеет открытопористую структуру, поэтому при изоляции промышленных объектов с отрицательными температурами применяют пароизоляционный слой из различных синтетических материалов. Цвет неокрашенного ППУ-Э — от белого до желтого. Сохраняет свои эластичные свойства при температуре от -15 до +100 °С. ППУ-Э негигроскопичен. Стоек к воздействию бензина и смазочных масел. Горит, выделяя при этом значительное количество теплоты и дыма. Промышленность выпускает самозатухающий эластичный поропласт марки ППУ-Э-40-08с.

Эластичный поропласт изготавливают в виде пластин длиной 2000 и 850 мм; шириной 750, 850, 1000 и 1600 мм и толщиной от 3 до 100 мм.

Средняя плотность ППУ-Э от 25 до 60 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при растяжении не менее 0,12 МПа; относительное удлинение в момент разрыва не менее 150% (для самозатухающего — 120%); теплопроводность от 0,032 до 0,041 Вт/(м·К).

ППУ-Э используют в качестве тепло-, звукоизоляционного и амортизационного материала. Температура изолируемой поверхности должна быть не ниже -180 °С.

**Жесткие пенополиуретаны** получают методом заливки (ППУ-331) или методом напыления (ППУ-308Н).

**Пенополиуретан ППУ-331** (ТУ 6-05-221-602—83) изготавливают путем смешивания заранее подготовленных компонентов А и Б, заливки смеси в формы или под металлический кожух, вспенивания и отверждения. В формы смесь заливают, если необходимо получить изделия заданной формы: полуцилиндры, плиты. Заливку смеси под металлический кожух производят на месте монтажа. Для этого металлический кожух устанавливают от изолируемой поверхности на расстоянии, равном толщине изоляции. Необходимое расстояние обеспечивают установкой дистанционных колец, по которым и устанавливается кожух.

Состав заливочного пенополиуретана ППУ-331, мас. ч.:

**компонент А** — компонент А2-331М-78; диметилэтанолламин (катализатор) — 0,1—0,8; хладон-11 (вспениватель) — 15—21,5;  
**компонент Б** — полиизоцианат — 103—116.

В герметичную емкость заливочной машины подают компонент А, заранее перемешанный в емкости, которая установлена на весах. Во вторую емкость машины заливают компонент Б. Далее сжатым воздухом оба компонента через смесительную головку, в которой они смешиваются и вступают в химическую реакцию, подают в форму или под кожух. Смесь вспенивается и застывает в виде твердой пены. Время начала вспенивания заливочной смеси (время старта) 60—90 с, причем время заливки смеси на несколько минут меньше времени старта, что дает возможность получить прочное соединение с ранее залитой порцией без опасения погасить вспенивание предыдущей порции смеси. Время твердения смеси с начала заливки 100—180 с.

Показатели физико-механических свойств пенополиуретана ППУ-331 приведены в табл. 3.32.

**Пенополиуретан ППУ-308Н** также состоит из двух компонентов: А и Б. В компонент А входят (мас. ч.): лапромол 294—100; трихлор-

этилфосфат (антипирен) — 30; хладон-П (вспениватель) — 45; продукт КЭП-2 (эмульгатор); компонентом Б служит полиизоцианат — 200—220.

Пенополиуретан ППУ-308Н наносят на изолируемую поверхность специальным пистолетом, в смесительную камеру которого подаются компоненты А и Б. При попадании на изолируемую поверхность эта смесь вспенивается и застывает.

Показатели физико-механических свойств пенополиуретана ППУ-308Н приведены выше.

При вспенивании жестких пенополиуретанов выделяется много теплоты, смесь нагревается, что ускоряет процесс вспенивания и твердения пенопласта. Вспенивание происходит при температуре изолируемой поверхности не ниже 12 °С, в противном случае поверхность должна быть подогрета.

Жесткие пенополиуретаны широко применяют для изоляции изотермических резервуаров, строительных ограждений. Для трубопроводов тепловых сетей бесканальной прокладки используют пенополиуретан ППУ-331, наносимый на трубопроводы на заводе и покрытый оболочкой из полиэтилена высокого давления. Сварные швы трубопроводов изолируют полуцилиндрами из пенополиуретана, которые потом покрывают полиэтиленовой пленкой, швы которой свариваются с такой же пленкой на основном трубопроводе. Пенополиуретан ППУ-308Н предназначен для изоляции больших поверхностей низкотемпературного оборудования и резервуаров.

При работе с пенополиуретаном следует строго соблюдать правила техники безопасности и промышленной санитарии, так как он содержит горючие и токсичные вещества.

Изделия из пенополиуретанового пенопласта упаковывают, транспортируют и хранят так же, как и изделия из пенопласта на основе ПХВ. Компоненты для получения смесей для заливки и напыления транспортируют и хранят в герметически закрытых металлических или стеклянных сосудах.

### **Пенопласты на основе фенолоформальдегидных смол**

**Фенолоформальдегидные смолы** — наиболее распространенные и дешевые полимеры. Пенопласты, изготовленные на их основе, отличаются повышенной тепло- и огнестойкостью по сравнению с остальными. В основном относятся к группе трудногоряемых материалов; являются химически стойкими материалами.

Пенопласты на основе фенолоформальдегидных смол изготавливают беспрессовым способом и способом заливки.

**Показатели физико-механических свойств жестких пенополиуретанов**

Таблица 3.32

	ППУ-331	ППУ-308Н
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	40—50	50—70
Предел прочности, МПа:	0,15	0,3—0,4
при сжатии	0,2	0,2—0,35
при изгибе		
Водопоглощение за 24 ч, % по объему	3,0	1,0
Теплопроводность при средней температуре 293 К, Вт/(м · К)	0,029	0,04
Горючесть	Трудновоспламеняемый	
Температура применения, °С	от -180 до +120	

**Пенопласты, получаемые беспрессовым способом.** Такие пенопласты изготавливают из смеси, состоящей из новолачной фенолоформальдегидной смолы, отвердителя (уротропин), газообразователя (порофор ЧХЗ-57) и наполнителей (стекловолокно, алюминиевая пудра и др.). Беспрессовым способом получают изделия из пенопластов марок ФФ, ФС-7-2.

**Пенопласт ФФ** (ТУ 6-05-1303-76) — газонаполненная пластмасса с преимущественно замкнутой ячеистой структурой. Пенопласт ФФ морозостоек и относится к группе труднообрабатываемых материалов. Выпускают в виде плит, покрытых бумагой, с необрезанными и обрезанными торцами. Размер плит с обрезанными торцами не менее 480 × 480 × 50 мм. Цвет плит — от желтого до коричневого. Показатели физико-механических свойств пенопластов ФФ приведены в табл. 3.33.

**Показатели физико-механических свойств пенопластов ФФ в зависимости от марки**

Таблица 3.33

Марка	170	210
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	170	210
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	0,8	1
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более	0,2	0,2
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более	0,047	0,056

Пенопласты ФФ применяют в качестве легких заполнителей для строительных конструкций, а также в качестве теплоизоляционных материалов при температуре изолируемой поверхности от -180 до +150 °С.

**Пенопласт ФС-7-2** (ТУ 6-05-958-78) — поропласт, изготавливаемый на основе фенолоформальдегидной смолы СФ-121, а также на основе сплава смол СФ-010 и СФ-011 и твердой фурфуролацетоновой смолы ФА-15 с отвердителем, пенообразователем и наполнителем (стекловолокно или вспученный перлит). Материал выпускают в виде плит с покрытием с двух сторон бумагой или без покрытия. Плиты с бумагой обладают большей прочностью (0,4 вместо 0,3 МПа), чем плиты без покрытия. Плиты относятся к группе трудно воспламеняющихся.

По средней плотности (100 и 70 кг/м<sup>3</sup>) пенопласт ФС-7-2 выпускают двух марок: ФС-7-2-100 и ФС-7-2-70. Размеры плит (мм): 1000 × 1000; 1200 × 1900; 1000 × 500; 1200 × 600; 1200 × 700; 1200 × 900; толщина — 25; 30; 35; 40; 60. Теплопроводность плит при температуре 298 К должна быть не более 0,052 Вт/(м · К).

Пенопласт используют для тепловой изоляции поверхностей с температурой от -180 до +100 °С.

**Пенопласты, изготавливаемые способом заливки.** Пенопласты изготавливают из смеси, которая состоит из резольных фенолоформальдегидных смол (ФРВ-1, ФРВ-2, ФРВ-1А, «Резоцел» с применением алюминиевой пудры), вспенивающего и отверждающего агента (ВАГ-1, ВАГ-2, ВАГ-3). Смесь может быть составлена по одной из следующих (I—IV) рецептур (в мас. ч.):

I		III	
ФРВ-1	100	ФРВ-1А	100
ВАГ-2	15—20	ВАГ-3	15—25
II		IV	
ФРВ-2	100	«Резоцел»	100
ВАГ-2	15—20	ВАГ-3	25—50
Легкокипящая жидкость 3—8			

**Теплоизоляционные изделия из пенопластов марок ФРП-1 и резопен** (ГОСТ 22546-77\*) получают способом заливки. Такие пенопласты представляют собой жесткие газонаполненные материалы с замкнутой ячеистой структурой. Цвет пенопласта розовый. Пенопласт ФРП-1 изготавливают из смеси, составленной по рецептуре III, а пенопласт резопен — из смеси, составленной по рецептуре IV.

По средней плотности изделия подразделяют на группы 75 и 100 (табл. 3.34).

**Показатели физико-механических свойств изделий из пенопластов ФРП-1 и резопен в зависимости от группы**

Таблица 3.34

	75	100
Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	65—85	86—110
Прочность на сжатие при 10%-ной линейной деформации, МПа, не менее	0,65	0,1
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,1	0,15
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м · К) при температуре (298 ± 5) К, не более	0,043	0,047
Температура применения, °С	от 180 до 130	от 180 до 150

Изделия из пенопластов ФРП-1 и резопен выпускают в виде цилиндров, полуцилиндров, сегментов и отводов. Размеры цилиндров и полуцилиндров (мм): внутренний диаметр — от 47 до 221 (полуцилиндры дополнительно 275 мм); длина — 1000 и 1500; толщина — 30, 40, 50 и 60. Диаметр сегментов, укладываемых по окружности в количестве трех штук, от 327 до 532 мм; укладываемых по окружности в количестве четырех штук — от 633 до 1023 мм; длина 1000, 1500 мм; толщина 30, 40, 50, 60 мм. Диаметр отводов с углом 90° от 47 до 428 мм, толщина 30, 40, 50 мм.

Применяют изделия для изоляции промышленного оборудования, трубопроводов и их отводов, а также строительных ограждающих конструкций.

*Теплоизоляционные плиты из пенопласта на основе резольных фенолоформальдегидных смол* (ГОСТ 20916—87) по средней плотности (50, 80, 90 кг/м<sup>3</sup>) подразделяют на марки 50, 80, 90. Теплопроводность плит в зависимости от марки составляет при средней температуре 298 К соответственно 0,041; 0,044 и 0,045 Вт/(м·К); прочность на сжатие при 10 %-ной деформации — 0,05; 0,13; 0,2 МПа; на изгиб — 0,08; 0,18 и 0,26 МПа.

Размеры (мм): длина — от 600 до 3000 с градацией 100 мм; ширина — от 500 до 1200 с градацией 100 мм; толщина — от 50 до 170 с градацией 10 мм.

Плиты применяют для изоляции строительных ограждающих конструкций при температуре изолируемой поверхности не выше 130 °С.

Теплоизоляционные изделия должны быть завернуты в битумную или дегтевую бумагу и упакованы в коробки из картона. В таком виде их можно транспортировать любым видом транспорта на любое расстояние. Хранят изделия в упакованном виде в сухом помещении.

Известны также модификации фенольно-резольных пенопластов, разработанные НПО «Полимерсинтез»: виларес-400, РНП-60А и др. Эти пенопласты являются многокомпонентными, и использование их в конструкциях затруднено.

ЦНИИПроектлегконструкцией разработан достаточно дешевый заливочный пенопласт **пенорезол**. Он относится к трудногорючим материалам (группа Г1), не распространяет пламени и не выделяет при пожаре токсичных веществ.

### **Поропласты на основе мочевиноформальдегидных смол**

В последние годы в России активно велись разработки карбамидных пенопластов, которые представляют собой трудногорючий полимерный пористый материал с открытоячеистой структурой, получаемой воздушным вспениванием композиции на основе карбамидоформальдегидной смолы.

**Карбамидные пенопласты** — это безнапорные пены, которыми можно заполнять большие открытые полости при неограниченном времени заливки, а также длинные замкнутые по периметру каналы. Их отличают низкая стоимость и доступность сырья, невысокая плотность (25—40 кг/м<sup>3</sup>), морозо- и биостойкость, трудногорючесть, стойкость к действию большинства органических растворите-

лей. Недостатки — невысокая механическая и адгезионная прочность, значительное водо- и влагопоглощение, хрупкость, повышенная технологическая усадка, наличие кислотной коррозионной среды. Для эффективного применения заливочных карбамидных пенопластов в металлических конструкциях необходимо решить проблемы, связанные с усадкой, трещиностойкостью, адгезией и защитой металла от коррозии.

К этой группе материалов относится **мипора** (ТУ 6-05-1112—92) — жесткий поропласт, похожий на отвердевшую рыхлую пену, белого или желтоватого цвета, с открытоячеистой структурой. Ее изготавливают из мочевины, водного раствора смеси формальдегида (формалина), глицерина, пенообразователя и фосфорно-кислого аммония.

Средняя плотность мипоры не более 18 кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность при средней температуре 298 К 0,035 Вт/(м·К); прочность на сжатие не менее 0,025 МПа; содержание влаги не более 15 % по массе; содержание свободного формальдегида 0,003 % по объему. Материал трудносгораемый, температура воспламенения 397 °С.

Мипору выпускают марок М и Н в виде прямоугольных блоков длиной 950—1100 мм; шириной 440—500 мм; высотой 200—300 мм. Блоки мипоры транспортируют упакованными в водонепроницаемую бумагу с обвязкой шпагатом в крытых вагонах. Хранят в сухих вентилируемых помещениях.

Применяют мипору в качестве теплоизоляционного материала в пассажирских вагонах, холодильных камерах, для передвижных и контейнерных инвентарных зданий, а также в стационарных и транспортных сосудах для хранения и перевозки жидкого кислорода.

Одна из разновидностей карбамидных пенопластов — **пеноизол**, разработанный фирмой МЕТТЭМ. Его изготавливают беспрессовым способом с помощью мобильных малогабаритных установок производительностью от 3 до 8 м<sup>3</sup>/ч, которые можно использовать как стационарно для изготовления плит, так и непосредственно на стройплощадке для изоляции пустотелых конструкций.

Это полимерный материал, полностью изготавливаемый из отечественного сырья. При помощи предлагаемого оборудования заполняют подлежащее изоляции пространство. Материал производится также в виде плит, размер которых 500 × 600 × 100 мм, и дробленой крошки. Характеристики пеноизола представлены в табл. 3.35.

Разработчики и производители рекламируют этот материал, предлагая широко использовать его в жилищном и промышленном строительстве. Однако есть ряд аспектов, связанных с природой этого материала, которые заставляют очень осторожно оценивать его долговечность, особенно в условиях увлажнения — как сорбционного, так и капельного.

Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,03–0,04
Рабочий диапазон температур, °С	от –120 до +50
Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	15
Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	0,1–0,25
Сорбционное увлажнение через трое суток, % по массе	до 20
Водопоглощение за 24 часа, % по объему	не более 20

Кроме того, его внешнее сходство с мипорой дает возможность недобросовестным производителям выдавать за пеноизол некачественный, недолговечный материал.

### Вспененные синтетические каучуки и полиэтилен

В последнее десятилетие за рубежом получило развитие производство эластичных утеплителей для теплоизоляции труб, инженерных коммуникаций жилых и производственных зданий из вспененного синтетического каучука и пенополиэтилена. Такую продукцию на российском рынке предлагают фирмы «Armstrong» (США), «Termaflex» (Нидерланды), «L'isolante K-Flex» (Италия) и др.

Теплоизоляция из вспененных полимерных материалов изготавливается в виде труб и листов. Трубчатые оболочки применяются для теплоизоляции стальных, медных и пластмассовых трубопроводов с наружным диаметром от 6 до 160 мм. Толщина изоляционного слоя составляет 6–32 мм. Для теплоизоляции труб большого диаметра, соединительных деталей, арматуры, трубопроводов некруглого сечения и оборудования выпускаются плоские листы и рулоны различной толщины, в том числе с клеевым слоем.

Плотность изоляции из вспененного полиэтилена составляет 33–40 кг/м<sup>3</sup>, из вспененного каучука — 65–80 кг/м<sup>3</sup>, из вспененного полиуретана — 25 кг/м<sup>3</sup>. Количество закрытых пор у таких утеплителей должно быть не менее 90 %.

В зависимости от марки теплоизоляционные материалы используются в диапазоне температур от –200 до +175 °С, т. е. они применяются для теплоизоляции не только систем отопления, водоснабжения и кондиционирования, но и технологических трубопроводов.

Изоляция из вспененных полимеров технологична, химически и водостойчива, способна обеспечить экономию до 70 % тепла, а также надежную защиту трубопроводов от запотевания и образования конденсата при сохранении собственных параметров в течение длительного времени.

Компания «Armacell» производит и реализует на российском рынке такие теплоизоляционные материалы, как Armaflex на основе вспененного каучука (трубки и листы), Tubolit (полиэтиленовая изоляция труб и оболочки труб), известные как ОКА материалы.

Итальянская фирма «L'isolante K-Flex» — один из ведущих производителей изоляционных материалов на основе вспененных каучуков K-Flex. Благодаря равномерной мелкоячеистой закрытопористой структуре изоляция K-Flex характеризуется высокими теплоизолирующей способностью (теплопроводность 0,04 Вт/(м·К) и коэффициентом сопротивления водяному пару (≥ 5000). Толщина изоляции 6–12 мм. Вспененный каучук K-Flex обладает высокой адгезией к приклеиваемым составам (эффект холодной сварки) и предназначен для изоляции поверхностей любого типа.

Теплоизоляция из вспененного полиэтилена благодаря высокой эластичности, закрытоячеистой структуре, низкой паропроницаемости находит все более широкое применение. Так, материалы фирмы Termaflex можно использовать в холодильной технике, системах кондиционирования, вентиляции, отопления и водоснабжения в диапазоне температур от –80 до +110 °С. Для различных условий эксплуатации выпускается широкий ассортимент изоляционных изделий марок **терма-флекс** и **термашит**: в виде трубок диаметром от 6 до 114 мм, толщиной от 6 до 25 мм, плит и рулонов. Для защиты от воздействия агрессивных сред, ультрафиолетовых лучей и других факторов используется изоляция со специальными покрытиями (резина, алюминий, пленки). Применение замка-защелки, специального клея, материалов на самоклеящейся основе позволяет экономить не менее 50 % времени при монтаже изоляции.

В отечественной и зарубежной промышленности и строительстве все большее развитие получают теплоизоляционные материалы с отражающим покрытием (отражающая изоляция). На отечественном рынке теплоизоляционных материалов представлены различные утеплители, дублированные алюминиевой фольгой толщиной от 7 до 30 мкм. Среди них особое место занимают такие материалы, работающие по принципу отражающей изоляции, как **пенофол**, **армофол**, **самоклеящаяся алюминиевая лента**.

**Пенофол** — это тепло-, шумо- и пароизоляционный материал с высоким коэффициентом отражения излучаемой тепловой энергии. Он состоит из одного или двух слоев алюминия толщиной 12–30 мкм и слоя вспененного полиэтилена. Плотность материала 44 кг/м<sup>3</sup>, толщина 3–10 мм, ширина 600 и 1200 мм, теплопроводность 0,038 Вт/(м·К), звукопоглощение не менее 32 дБ. Пенофол повышает теплозащитные свойства конструкций без увеличения их объема. Он используется как в качестве самостоятельной тепловоздуко-



изоляции, так и совместно с другими изоляционными материалами. Являясь пароизолятором, он может заменить в ограждающих конструкциях пароизоляционный слой. Однако, на наш взгляд, к декларируемым разработчиками свойствам следует относиться весьма осторожно, так как в стационарных процессах теплопередачи при достаточно низких температурах, а в таковых работает большинство конструкций тепловой изоляции, доля лучистой составляющей пренебрежимо мала.

**Армофол** — это полимерная сетка с одно- или двухсторонним покрытием из алюминиевой фольги. Самоклеящаяся алюминиевая лента предназначена для проклейки швов при использовании пенофола и армофола.

Из вспененного полиэтилена завод выпускает изделия марки **Энергофлекс** — трубки, рулоны, шнуры. Плотность изделий  $25 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $0,038 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . Они предназначены для систем вентиляции, кондиционирования, водоснабжения и отопления при температуре от  $-40$  до  $+100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Российская фирма «ТИКО», занимающаяся разработкой и внедрением новых технологий, материалов и приборов, организовала серийное производство теплоотражающего состава «**Жидкая фольга**» и нового утеплителя **полиал** с теплоотражающим покрытием из «**Жидкой фольги**».

После нанесения на любую поверхность «Жидкая фольга» образует эластичное пленочное покрытие с теплоотражающими свойствами, аналогичными свойствам медной и алюминиевой фольги. Покрытие характеризуется хорошей адгезией к различным материалам (ткань, бумага, резина, пленки, дерево, кожа, металлы и др.), влагонепроницаемостью, температуроустойчивостью (от  $-60$  до  $+150 \text{ }^\circ\text{C}$ ), долговечностью, экологической чистотой (возможен контакт с пищевыми продуктами).

«Жидкая фольга» является хорошим герметиком и антикоррозионным материалом.

**Полиал** — это утеплитель плотностью  $34 \text{ кг/м}^3$  на основе пенополиэтилена с эластичным покрытием из «Жидкой фольги». Он отличается эластичностью, влагонепроницаемостью, температуроустойчивостью (от  $-60$  до  $+75 \text{ }^\circ\text{C}$ ), маслостойкостью, долговечностью, экологической чистотой. Полиал применяется для утепления дачных домов, бытовок, гаражей, лоджий, фундаментов, инженерных коммуникаций и т. д. Его можно укладывать под любое напольное, потолочное и стеновое покрытие. Крепление полиала осуществляется с помощью клея или механическим способом.

На основе полиэтилена высокого давления, а также сополимера сэвилен ОАО «Ижевский завод пластмасс» выпускает эластичный

вспененный материал марки **изолон**. Благодаря закрытой пористой структуре он характеризуется негигроскопичностью и высокими теплоизоляционными свойствами (при плотности  $33 \text{ кг/м}^3$  теплопроводность составляет  $0,031-0,032 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ). Изолон выпускается толщиной  $1-50 \text{ мм}$  и поставляется в листах и рулонах шириной до  $1,6 \text{ м}$ . Он используется для дополнительного утепления зданий, в системах водоснабжения, кондиционирования и вентиляции, в холодильном оборудовании и др. Могут быть изготовлены материалы с огнегасящими добавками (группы горючести Г1 и Г2), а также дублированные фольгой, металлизированной пленкой, тканями и др. Изолон успешно заменяет импортные материалы, традиционно используемые в качестве подложек под ламинированный паркет, демпфирующих гидроизоляционных мембран и т. п.

Один из вариантов отражающей теплоизоляции марки **фольгоизолон-Л** предлагает ООО «Тизома». Фольгоизолон-Л представляет собой экструзионный пенополиэтилен изолон, термически дублированный металлизированной лавсановой пленкой. Материал имеет закрытопористую масло-, бензо-, влагостойкую структуру и одновременно выполняет функции пароизоляции и ветрозащиты. Коэффициент теплопроводности материала составляет  $0,031-0,036 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . Температурный режим эксплуатации этого материала от  $-60$  до  $+95 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Эффективные утеплители марки **фольма** производит ОАО «Тверьстеклопластик». Фольма представляет собой комбинированный материал на основе вспененного полиэтилена, стеклохолста или стеклоткани с покрытием из алюминиевой фольги. Материал характеризуется экологической чистотой, минимальными тепловыми потерями при небольшой толщине (принцип термоса), устойчивостью к воздействию УФ-излучения, звукопоглощающей способностью, не подвержен коррозии и гниению. В зависимости от марки материала его толщина колеблется от  $0,2$  до  $10 \text{ мм}$ , теплопроводность — от  $0,038$  до  $0,057 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , температура применения от  $-60$  до  $+130 \text{ }^\circ\text{C}$ . По горючести фольма относится к группе Г1, по воспламеняемости — к группе В1 (по ГОСТ 30244—94).

Материал предназначен для утепления стен, полов, потолков, кровли и т. п., для изоляции в системах «Теплый дом», а также в системах отопления, водоснабжения и вентиляции.

ЗАО «ККИП» производит рулонные теплоизоляционные материалы **фомисол** и **изобабл**. Эти влаго- и паронепроницаемые теплоизоляционные материалы представляют собой вспененный или пузырьковый полиэтилен с отражающим покрытием из металлизированной полипропиленовой пленки или из защищенной алюминиевой фольги. Они характеризуются высоким термическим сопро-

тивлением и могут быть использованы во всех случаях, когда возникает необходимость сохранения тепла или холода.

Погонажные изделия марки **вилатерм** из вспененного пищевого полиэтилена с мелкочаеистой закрытопористой структурой выпускает ОАО «Стройдеталь». Эти изделия изготавливаются в виде труб диаметром 30—80 мм, длиной 3—6 м, а также в виде листов и полос различных размеров. Изделия предназначены для уплотнения стыков ограждающих конструкций сборных и монолитных зданий и их элементов, изоляции систем водоснабжения и холодильного оборудования, звукоизоляции междуэтажных перекрытий и полов, демпфирования и амортизации напряжений.

## Глава 4. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Тепловая изоляция предназначена для снижения интенсивности процессов распространения и передачи тепла через стенки трубопроводов и оборудования в промышленности и через ограждающие конструкции зданий и сооружений в строительстве.

Конструктивные, теплозащитные и эксплуатационные свойства конструкций промышленной тепловой изоляции определяются эксплуатационными параметрами и 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 объектов промышленной тепловой изоляции следует отнести:

- оборудование и трубопроводы технологических установок и энергетических систем, холодильных установок;
- теплофикационные сети;
- промышленные печи и дымовые трубы;
- строительные конструкции зданий и сооружений;
- транспортные средства.

Объекты тепловой изоляции в нефтяной и химической промышленности — 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 ТЭЦ и котельных. Тепловой изоляции подлежат паровые котлы, паровые и газовые турбины, подогреватели, испарители, деаэраторы, баки, бойлеры, насосы, дымососы, газоходы, вентиляторы, сепараторы, циклоны и др.

В различных отраслях промышленности тепловой изоляции подлежат такие агрегаты, как металлургические, стекловаренные, нагревательные, термические, вращающиеся печи, электропечи, промышленные сушилки, 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, междуэтажные и 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.

Объекты промышленной тепловой изоляции классифицируются по нескольким признакам, укажем некоторые из них.

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

Объекты тепловой изоляции различают по геометрической форме и размерам, включая:

- 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 каналах (проходных и непроходных) и тоннелях.

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

#### 4.1. Элементы теплопередачи через ограждающие конструкции промышленных и строительных объектов

Теплопередача является сложным физическим процессом, который условно подразделяется на три элементарных механизма переноса тепла, а именно: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность представляет собой процесс распространения тепловой энергии при непосредственном соприкосновении твердых, жидких и газообразных тел или их частей, имеющих различ-

ные температуры. Теплопроводность обусловлена колебательным движением микрочастиц тела.

Конвекция имеет место только в текучих средах и представляет собой перенос тепловой энергии при перемещении объемов жидкости или газа в пространстве.

Тепловое излучение — это процесс распространения тепловой энергии в виде электромагнитных волн. При тепловом излучении происходит двойное превращение энергии, т. е. тепловая энергия излучающего тела переходит в лучистую, а лучистая энергия, поглощенная телом, переходит в тепловую.

Элементарные виды переноса тепла чаще всего происходят совместно. Так, теплопроводность в чистом виде имеет место лишь в твердых телах. В реальных условиях элементарные виды теплообмена могут находиться в различных сочетаниях. Так, например, процессы передачи тепла через ограждающие конструкции зданий и сооружений или от горячего газа к холодной жидкости через разделяющую их стенку включают все элементарные виды теплообмена и называются процессом **теплопередачи**.

Ниже приводятся основные физические закономерности и методы расчета теплопередачи для различных условий применения тепловой изоляции.

В промышленной и строительной тепловой изоляции большинство задач по передаче тепла через теплоизолированную стенку сводится к определению требуемой толщины теплоизоляционного слоя при заданных параметрах внешней и внутренней среды и нормативных требованиях к величине теплового потока через стенку или температурам на ее внутренней или наружной поверхности. При этом чаще всего рассматриваются стационарные условия теплообмена, при которых параметры внешней и внутренней среды принимаются постоянными во времени.

Процесс теплопередачи от горячей жидкой или газообразной среды через теплоизолированную стенку к холодной жидкой или газообразной среде может включать все из рассмотренных выше элементарных процессов переноса тепла в различном их сочетании.

Количественной характеристикой этого процесса является коэффициент теплопередачи  $k$ , значение которого определяет количество тепла, переданного в единицу времени через единицу поверхности от одной жидкости к другой при разности температур между ними в один градус. При этом количество передаваемого тепла  $Q$ , Вт, может быть рассчитано по формуле

$$Q = k \cdot (t_1 - t_2) \cdot F, \quad (4.1)$$

где  $k$  — коэффициент теплопередачи Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$t_1, t_2$  — температуры соответственно горячей и холодной жидкости;

$F$  — площадь поверхности теплообмена,  $m^2$ .

Ниже приводятся расчетные формулы для определения плотности теплового потока, коэффициента теплопередачи и термического сопротивления одно- и многослойных плоских и цилиндрических стенок при стационарных (установившихся) условиях теплообмена.

Для однородной плоской стенки значение коэффициента теплопередачи рассчитывается по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.2)$$

где  $\delta$  — толщина плоской стенки, м;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности плоской стенки, Вт/(м·°C);

$\alpha_1$  — коэффициент теплоотдачи от горячей среды к стенке, Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );

$\alpha_2$  — коэффициент теплоотдачи от стенки к холодной среде, Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ ).

Величина, обратная коэффициенту теплопередачи, называется полным термическим сопротивлением теплопередачи:

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (4.3)$$

Таким образом, общее термическое сопротивление теплопередаче через однородную плоскую стенку равно сумме частных сопротивлений:

$$R = R_{\alpha 1} + R_{\lambda} + R_{\alpha 2}, \quad (4.4)$$

где  $R_{\alpha 1}$  — частное термическое сопротивление теплоотдаче со стороны горячего теплоносителя, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт;

$R_{\lambda}$  — частное термическое сопротивление стенки, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт;

$R_{\alpha 2}$  — частное термическое сопротивление теплоотдаче со стороны холодного теплоносителя, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт.

Для многослойной плоской стенки, состоящей из нескольких, например двух, слоев толщиной  $\delta_1$  и  $\delta_2$  с коэффициентами теплопроводности  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , граничащей с одной стороны с горячей средой с температурой  $t_1$  и коэффициентом теплоотдачи  $\alpha_1$ , а с другой — с холодной средой с температурой  $t_2$  и коэффициентом теплоотдачи  $\alpha_2$ , плотность теплового потока при установившемся тепловом состоянии системы постоянна и определяется выражением

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}) = k \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}). \quad (4.5)$$

Значение коэффициента теплопередачи для двухслойной плоской стенки определяется по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (4.6)$$

Если стенка состоит из нескольких слоев толщиной  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  и коэффициенты теплопроводности их соответственно  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ , то общее термическое сопротивление теплопередаче будет равно:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}; \quad (4.7)$$

или

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (4.8)$$

В этом случае уравнение (4.6) принимает вид:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.9)$$

или

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (4.10)$$

**Однородная цилиндрическая стенка.** Рассматривается цилиндрическая стенка (труба) с внутренним диаметром  $d_1$ , внешним  $d_2$  и длиной  $l$ . Стенка трубы однородна; ее коэффициент теплопроводности  $\lambda$ . Внутри трубы горячая среда с температурой  $t_{ж1}$  снаружи — холодная с температурой  $t_{ж2}$ . Со стороны горячей среды суммарный коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$ , а с холодной стороны —  $\alpha_2$ .

При установившемся тепловом состоянии системы значение линейной плотности теплового потока  $q_l$ , (Вт/м) определяется из уравнения

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_{ж1} - t_{ж2})}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} = k_l \cdot \pi \cdot (t_{ж1} - t_{ж2}), \quad (4.11)$$

откуда линейный коэффициент теплопередачи (на 1 м длины трубы)

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (4.12)$$

Величина, обратная линейному коэффициенту теплопередачи  $k_l$ , называется линейным термическим сопротивлением теплопередаче и определяется по формуле

$$R_l = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}, \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}. \quad (4.13)$$

Последнее означает, что общее термическое сопротивление равно сумме частных — термического сопротивления теплопроводности стенки  $\frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}$  и термических сопротивлений теплоотдаче  $1/\alpha_1 d_1$  и  $1/\alpha_2 d_2$ .

**Многослойная цилиндрическая стенка.** Рассматривается передача теплоты через многослойную, например двухслойную, цилиндрическую стенку. Диаметры и коэффициенты теплопроводности отдельных слоев известны. Температура горячей среды  $t_{ж1}$ , холодной —  $t_{ж2}$ . Коэффициент теплоотдачи со стороны горячей среды  $\alpha_1$ , а со стороны холодной —  $\alpha_2$ . Температуры поверхностей  $t_{c1}$  и  $t_{c3}$ , а также температура в месте соприкосновения разнородных цилиндрических слоев  $t_{c2}$  неизвестны.

При установившемся тепловом состоянии системы значение линейной плотности теплового потока определяется выражением

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_{ж1} - t_{ж2})}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3}}, \text{ Вт}/\text{м}. \quad (4.14)$$

Линейный коэффициент теплопередачи для двухслойной стенки

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3}}, \quad (4.15)$$

а общее термическое сопротивление  $R_l = 1/k_l$ .  
Для многослойной стенки трубы

$$R_l = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}} \quad (4.16)$$

и

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}}}. \quad (4.17)$$

Расчетные формулы теплопередачи для труб довольно громоздки, поэтому при практических расчетах применяются некоторые упрощения. При проведении практических расчетов следует иметь в виду, что в целях упрощения расчета относительно малыми сопротивлениями можно пренебрегать.

Более подробное изложение физических основ теплопередачи и методов ее расчета приводится в специальной литературе, посвященной этому вопросу, например [47] и др.

## 4.2. Конструкции промышленной тепловой изоляции

Конструкции промышленной тепловой изоляции включают следующие основные элементы:

- теплоизоляционный слой;
- защитно-покровный слой, предохраняющий теплоизоляционный слой от внешних механических воздействий, атмосферных осадков, воздействия агрессивных сред;
- пароизоляционный слой (в низкотемпературных конструкциях), защищающий изоляцию от проникновения содержащихся в воздухе паров влаги;
- крепежные и вспомогательные детали, которые служат для крепления теплоизоляционного и защитно-покровного слоев к изолируемой поверхности, а также обеспечивают жесткость конструкции.

Некоторые виды конструкций с учетом их назначения, условий эксплуатации, материала основного и покровного слоев дополнительно могут включать антикоррозионный и отделочный слои.

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

### **Классификация конструкций промышленной тепловой изоляции**

В зависимости от материала основного слоя теплоизоляционные конструкции трубопроводов и оборудования подразделяются на следующие основные виды:

- конструкции на основе теплоизоляционных матов, холстов и шнуров. Эти конструкции используются для изоляции прямолинейных и фасонных участков трубопроводов, арматуры, фланцевых соединений, компенсаторов;
- конструкции на основе цилиндров и полуцилиндров из волокнистых теплоизоляционных материалов;
- конструкции на основе жесткоформованных изделий (диатомитовые, соевитовые, вулканитовые, известково-кремнеземистые, перлитцементные и другие плиты, полуцилиндры, сегменты) для трубопроводов и оборудования;
- конструкции теплоизоляции на основе сыпучих волокнистых или порошкообразных материалов;
- мастичные конструкции — из мастик, приготовленных из порошкообразных или волокнистых материалов;
- экранные конструкции тепловой изоляции на основе металлической фольги с высокими отражательными свойствами;
- конструкции на основе вспениваемых теплоизоляционных материалов, монтируемых на изолируемом объекте путем заливки в пространство между изолируемой поверхностью и защитным покрытием вспенивающей композиции, образующей после отверждения пористую структуру.

По трудоемкости монтажа конструкции подразделяют на **индустриальные и неиндустриальные**. Наиболее индустриальный вид изоляции — это теплоизоляционные конструкции заводского изготовления. Готовые теплоизоляционные конструкции заводского изготовления разделяются на полносборные (ПТК) и комплектные теплоизоляционные конструкции (КТК). Полносборные теплоизоляционные конструкции состоят из теплоизоляционных изделий

(основной теплоизоляционный слой) и покровного слоя, соединенных между собой крепежными деталями, и деталей крепления на трубопроводе.

Комплектные теплоизоляционные конструкции состоят из тех же элементов, что и полносборные, но собраны в единую конструкцию без соединения крепежными деталями.

Конструкции, теплоизоляционный и покровный слои которых выполнены из штучных изделий, а также засыпные, набивные, мастичные и литые относятся к неиндустриальным.

В зависимости от температуры изолируемых поверхностей конструкции изоляции подразделяют на конструкции для объектов с положительной температурой поверхности и конструкции для объектов с отрицательной температурой поверхности.

По количеству основных теплоизоляционных слоев конструкции бывают **однослойные и многослойные** (двух-, трехслойные). Многослойная изоляция бывает **однородная или неоднородная**, т. е. выполненная из двух теплоизоляционных материалов или изделий и более.

#### **4.2.1. Технические требования к теплоизоляционным материалам в конструкциях тепловой изоляции промышленного оборудования**

При монтаже и в процессе эксплуатации теплоизоляционные материалы в конструкции подвергаются температурным, влажностным, механическим, в том числе вибрационным, воздействиям, что определяет перечень предъявляемых к ним требований [2, 87].

Физико-технические свойства теплоизоляционных материалов оказывают определяющее влияние на энергоэффективность, эксплуатационную надежность и долговечность конструкций промышленной тепловой изоляции, трудоемкость их монтажа, возможность ремонта в процессе эксплуатации.

Основными показателями, характеризующими физико-технические и эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов являются: плотность, теплопроводность, температуростойкость, сжимаемость и упругость (для мягких материалов), прочность на сжатие при 10 %-ной деформации (для жестких и полужестких материалов), вибростойкость, формостабильность, горючесть, водостойкость и стойкость к воздействию химически агрессивных сред, содержание органических веществ и биостойкость.

Теплопроводность теплоизоляционного материала при прочих равных условиях определяет необходимую толщину теплоизоляционного слоя, а следовательно, и нагрузки на изолируемый объект,

конструктивные и монтажные характеристики теплоизоляционной конструкции. Теплопроводность возрастает с повышением температуры. Расчетные значения теплопроводности мягких и полужестких теплоизоляционных материалов в конструкции определяются с учетом степени их монтажного уплотнения, шовности конструкции, наличия крепежных деталей.

Температура применения теплоизоляционных материалов, оклеенных с одной или двух сторон фольгой, стеклохолстом или крафт-бумагой, определяется с учетом температуростойкости материалов, применяемых для оклейки и клеевого соединения. Учитываются линейная усадка при нагреве, потеря прочности на сжатие и потеря массы при нагревании, степень выгорания связующего.

При выборе теплоизоляционного материала учитывают прочностные и деформационные характеристики изолируемого объекта, расчетные допустимые нагрузки на опоры и другие элементы изолируемой поверхности. Так, при изоляции пластмассовых трубопроводов, с учетом пластичности материала трубопровода при повышенных температурах, наиболее эффективны материалы низкой плотности.

При изоляции стальных вертикальных резервуаров для хранения воды, нефти и нефтепродуктов допустима нагрузка от изоляции ограничивается значениями 32—34 кг/м<sup>2</sup>.

Требования пожарной безопасности определяют выбор теплоизоляционного материала и конструкции в соответствии с нормами технологического проектирования соответствующих отраслей промышленности с учетом положений СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Для таких отраслей промышленности, как газовая, нефтехимическая, химическая, производство минеральных удобрений, ведомственные нормы допускают применение только негорючих и трудногорючих материалов в составе теплоизоляционных конструкций.

При выборе материалов теплоизоляционного слоя и защитного покрытия для теплоизоляционных конструкций учитывается поведение теплоизоляционной конструкции в целом в условиях пожара.

Пожарная опасность теплоизоляционных конструкций наряду с другими факторами зависит от горючести и температуростойкости защитного покрытия, его механической прочности в условиях огневого воздействия.

Негорючие или трудногорючие волокнистые теплоизоляционные материалы при определенных условиях могут поглощать горючие вещества (нефтепродукты, масла и др.), которые влияют на горючесть конструкции и способны самовоспламениться, что также учитывается при проектировании.

Долговечность теплоизоляционного материала зависит от особенностей конструкции, месторасположения изолируемого объекта, режима работы оборудования, агрессивности окружающей среды, механических нагрузок, наличия вибраций. Долговечность теплоизоляционного материала и теплоизоляционной конструкции в целом в значительной степени определяется долговечностью защитного покрытия.

Санитарно-гигиенические требования особенно важны при проектировании объектов с технологическими процессами, требующими высокой чистоты, например в микробиологии, радиоэлектронике, фармацевтической промышленности. В этих условиях применяются материалы или конструкции, не допускающие загрязнения воздуха в помещениях.

Конструктивные решения тепловой изоляции и расчетные характеристики теплоизоляционных конструкций определяются параметрами изолируемого объекта, назначением тепловой изоляции, условиями эксплуатации теплоизоляционных конструкций и характеристиками используемых в конструкции теплоизоляционных и защитно-покровных материалов.

В конструкциях тепловой изоляции промышленного оборудования с температурой 20 °С и ниже допускается применение только гидрофобизированных теплоизоляционных изделий.

Тепловая изоляция промышленных трубопроводов помимо функций энергосбережения обеспечивает возможность проведения технологических процессов при заданных параметрах, позволяет создать безопасные и комфортные условия работы обслуживающего персонала на производстве, обеспечивает транспорт тепла от источника до потребителя, предотвращает замерзание холодной воды в трубопроводах в зимнее время года, позволяет хранить сжиженные и природные газы в изотермических хранилищах, обеспечивает снижение энергозатрат на отопление зданий и сооружений.

Энергоэффективность теплоизоляционных конструкций, их надежность и долговечность прежде всего зависят от эксплуатационных характеристик теплоизоляционных материалов, применяемых в конструкциях в качестве теплоизоляционного слоя.

Номенклатура отечественных теплоизоляционных материалов, предназначенных для тепловой изоляции трубопроводов, не слишком разнообразна и представлена традиционно применяемыми матами минераловатными прошивными безобкладочными или в обкладках из металлической сетки, стеклоткани или крафт-бумаги с одной или двух сторон ГОСТ 21880-94, ТУ 36.16.22-10-89, ТУ 34.26.10579-95 и др.), изделиями минераловатными с гофрированной структурой для промышленной тепловой изоляции



Таблица 4.2.1

(ТУ 36.16.22-8-91), плитами теплоизоляционными минераловатными на синтетическом связующем плотностью от 50 до 125 кг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 9573-96), изделиями из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499-95). В небольшом объеме выпускаются изделия из супертонкого стеклянного и базальтового волокна с применением различных связующих и без них (ТУ 21-5328981-05-92, ТУ 95.2348-92, ТУ 5761-086011387634-95 и др.). Для изоляции трубопроводов с температурой до 130 °С применяются скорлупы из трудногорючего фенольно-резольного пенопласта ФРП-1 (ГОСТ 22546-77) и скорлупы из пенополиуретана.

Для изоляции трубопроводов с температурой от 400 до 600 °С в качестве первого слоя многослойной теплоизоляционной конструкции применяются жесткие формованные известково-кремнеземистые изделия (скорлупы и сегменты по ГОСТ 24748-81) и перлитцементные скорлупы (ТУ 36.16.22-72-96).

Высокими монтажными и эксплуатационными свойствами характеризуются минераловатные цилиндры для трубопроводов диаметром от 18 до 273 мм при толщине теплоизоляционного слоя от 20 до 80 мм, выпускаемые по ТУ 5762-010-45757203-01 ЗАО «Минвата» (г. Железнодорожный Московской области).

Наряду с высокотехнологичными теплоизоляционными конструкциями для трубопроводов на основе формованных изделий (цилиндры, полуцилиндры, сегменты) из минеральной и стеклянной ваты, для изоляции трубопроводов находят применение и менее индустриальные конструкции, требующие больших трудозатрат при монтаже, на основе полотна холстопршивного стекловолокнистого ПСХ-Т (ТУ 6-48-97-93) или иглопробивного ИПС-Т-1000 (ТУ 6-00209775.051-95), теплоизоляционных шнуров (ГОСТ 1779-83, ТУ 34-26-10258-86) или безобкладочных минераловатных или стекловолокнистых матов.

Для трубопроводов холодной воды и трубопроводов с отрицательными температурами теплоносителя из теплоизоляционных материалов отечественного производства применяются заливочный пенополиуретан (ОСТ 6-55-455-90) и скорлупы из пенополистирола ПСБ-С. Оба материала относятся к группе горючих по ГОСТ 30244. Для этой цели используются также конструкции на основе минераловатных и стекловолокнистых материалов с пароизоляционным слоем, характеризующиеся невысокой теплотехнической эффективностью и долговечностью.

Назначение и области рационального применения перечисленных выше теплоизоляционных материалов приводятся в табл. 4.2.1.

Ужесточение энергосберегающей политики и введение новых норм плотности теплового потока, которые на 25—30 % ниже, чем

Материал	Трубопроводы				Арматура		
	до 57 мм вкл.	25-219 мм	219 мм и более	530 мм и более	фланцевая	приварная	муфтовая
Маты минераловатные прошивные безобкладочные							
То же в обкладках							
Плиты минераловатные на синтетическом связующем марок 50 и 75							
То же марок 100, 125							
Цилиндры минераловатные на синтетическом связующем							
Изделия минераловатные с гофрированной структурой марки 75							
То же марки 100							
Маты из стеклянного штапельного волокна							
Плиты из стеклянного штапельного волокна							
Маты из базальтового супертонкого волокна							
Плиты из базальтового супертонкого волокна							
Маты из супертонкого стекловолокна без связующего							
Полотно холстопршивное типа ПСХ-Т							
Полотно иглопробивное марки ИПС-Т							
Изделия известковокремнеземистые							
Изделия перлитцементные							
Пенополиуретан заливочный или напыляемый							
Изделия из ФРП-1							
Скорлупы из пенополистирола ПСБ-С							
Шнур асбестовый							
Шнур минераловатный							

принятые до 1997 года (изм. № 1 СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов») потребовали применения теплоизоляционных материалов нового поколения с улучшенными теплотехническими свойствами.

Высокими эксплуатационными и монтажными свойствами обладают упомянутые выше цилиндры производства ЗАО «Минеральная Вата» (ТУ 5762-010-45757203-01). Очевидные преимущества этих изделий (формостабильность, низкая теплопроводность, пожаробезопасность, индустриальность в монтаже, надежность в эксплуатации и долговечность) в конечном итоге, несмотря на относительно высокую стоимость, должны привести к росту применения этих изделий для изоляции трубопроводов промышленных предприятий, тепловых сетей канальной прокладки и трубопроводов горячего водоснабжения, в том числе в подвалах и на чердаках жилых и общественных зданий. Следует указать, что трудозатраты и сроки монтажа конструкций с применением цилиндров существенно ниже, чем конструкций с применением рулонных и шнуровых теплоизоляционных материалов, что в значительной степени компенсирует высокую стоимость самого теплоизоляционного материала. Применение изделий высокого качества обеспечит высокую эффективность теплоизоляционных конструкций без дополнительных затрат на ремонт в течение срока, соизмеримого со сроком службы трубопроводов.

Для изоляции трубопроводов диаметром 273 мм и более ЗАО «Минвата» производит гидрофобизированные маты из минеральной ваты на синтетическом связующем марки «ТЕХМАТ» (ТУ 5762-007-4575203-00).

Теплоизоляционные изделия из стеклянного штапельного волокна, характеризующиеся низкой плотностью и температурой применения до 180 °С, рекомендуется применять для трубопроводов надземной прокладки, в том числе тепловых сетей.

Перспективными материалами для этой цели являются теплоизоляционные изделия «URSA», которые выгодно отличаются умеренной ценой и высоким качеством.

Улучшение качества отечественных минераловатных теплоизоляционных материалов связано с модернизацией существующих производств, введением новых технологических линий, использованием качественного сырья, отказом от применения в производстве доменных шлаков. Реализация этих мероприятий позволяет наладить производство высококачественных изделий из минеральной ваты из горных пород с толщиной волокна 5—6 мкм. Такие изделия выпускаются Волгоградским заводом теплоизоляционных изделий АО «Термостепс», ЗАО «Минеральная Вата», Назаровским

ЗТИ (Красноярский край), АО «Тизол» (г. Нижняя Тура). Высокое качество имеют и изделия, выпускаемые на одном из лучших заводов по производству минераловатных изделий «Изоплит» (г. Тверь).

Результаты теплофизических испытаний этих материалов показывают, что они имеют коэффициенты теплопроводности существенно ниже значений, указанных в государственных стандартах и технических условиях на эти материалы.

При подземной бесканальной прокладке трубопроводов тепловых сетей наряду с традиционными видами изоляции из армопенобетона, битумоперлита и битумовермикулита, имеющими относительно высокие коэффициенты теплопроводности, все более широко внедряется высокоэффективная теплоизоляция из заливочного пенополиуретана в конструкциях типа «труба в трубе» с прочной оболочкой из полиэтилена. Наиболее широкое применение эти конструкции получили в г. Москве [84].

Тепловые сети ОАО «Мосэнерго» с 1995 года начали вести бесканальную прокладку теплотрасс с предизолированными в заводских условиях трубопроводами в ППУ-изоляции. К настоящему времени тепловые сети Мосэнерго имеют на балансе более 200 таких теплотрасс протяженностью от нескольких десятков метров до нескольких километров с общей протяженностью трубопроводов более 100 км. Примерно такое же количество теплотрасс находится на стадии проектирования и монтажа.

Бесканальная прокладка осуществляется по технологиям трех основных фирм: это датское отделение компании «АББ АЙ СИ Мюллер» (ABB Alstom Power), совместное американско-российское предприятие «Мосфлоулайн» и немецкая фирма «Маннесман-Зейферт».

Подземные бесканальные теплотрассы с ППУ-изоляцией в сравнении с канальной и бесканальной прокладкой с использованием традиционных теплоизоляционных материалов обеспечивают значительное снижение тепловых потерь и увеличение ресурса эксплуатации трубопроводов за счет предотвращения или снижения интенсивности процессов коррозии на наружной поверхности трубы.

Как известно, процессы коррозии интенсивно протекают при контакте металлических поверхностей с водой, содержащей растворенный кислород. Снижение интенсивности коррозии наружной поверхности трубы достигается за счет надежной герметизации ППУ-изоляции, а внутренней — путем снижения концентрации кислорода в сетевой воде.

Нанесение ППУ-изоляции на трубы и запорное оборудование в заводских условиях, а также строгое соблюдение технологии изо-

ляции сварных швов при прокладке трубопроводов гарантируют надежную гидроизоляцию трубопроводов. Для контроля надежности этой изоляции в процессе эксплуатации теплотрассы трубопроводы оборудованы системой сигнализации (система оперативного дистанционного контроля). Непрерывный контроль технического состояния подземных бесканальных теплотрасс позволяет оперативно устранять повреждения ППУ-изоляции, сократить продолжительность контакта наружной поверхности трубы с грунтовыми водами, что в конечном итоге ограничивает до минимума интенсивность коррозионных процессов на наружной поверхности труб.

Проблемы коррозии внутренней поверхности труб определяются в основном водно-химическим режимом и свойствами металла, из которого изготовлен трубопровод.

В системе Мосэнерго существуют нормы, которые регламентируют основные показатели качества сетевой и подпиточной воды, обеспечивающие минимальную интенсивность коррозионных процессов. Нормируемыми показателями являются: общая жесткость, щелочность, содержание растворенного кислорода, показатель pH.

Свойства металла труб, используемых в тепловых сетях, должны соответствовать требованиям, предъявляемым к трубопроводам, работающим при повышенных температурах (до 150 °С) и давлениях (до 2,5 МПа). В нашей стране наиболее часто для трубопроводов теплосетей используется сталь марки Ст.3. Реже применяются стали марок Ст.10, Ст.15, Ст.20.

Характерные неисправности, классифицированные при статистическом анализе работы теплотрасс с ППУ-изоляцией, в основном сводятся к следующим: коррозионные повреждения стальных труб; дефекты сварных швов; дефекты заделки муфт с ППУ-изоляцией; неисправности в компонентах систем контроля и механические повреждения ППУ-изоляции. Опыт эксплуатации таких теплотрасс в тепловых сетях Мосэнерго показал, что основную долю неисправностей (до 90%) составляют механические повреждения ППУ-изоляции, связанные с внешним механическим воздействием при проведении различного рода земляных работ. При правильной организации строительно-земляных работ и исключении механических повреждений бесканальная прокладка предварительно изолированных в заводских условиях трубопроводов дает несомненный технический и экономический эффект.

Введение новых норм тепловых потерь для трубопроводов тепловых сетей потребовало практически повсеместного перехода на более эффективную ППУ-изоляцию. Реализация новых норм в практике привела к необходимости отказа от таких традиционных для России теплоизоляционных материалов, как битумокерамзит и

битумоперлит, а также часто к необходимости закрытия производивших их предприятий.

Такой жесткий нормативный подход к решению проблемы энергосбережения, очевидно, не является экономически оптимальным как для отрасли, так и для экономики в целом. Этот вывод подтверждается практикой, в соответствии с которой традиционные материалы применяются на основании различного рода согласований и распоряжений местных органов.

При выборе теплоизоляционных материалов необходимо учитывать, что значения их теплотехнических характеристик в конструкциях под воздействием монтажных и эксплуатационных факторов существенно отличаются от указанных в технических условиях.

Теплоизоляционные материалы инофирм представлены достаточно обширной номенклатурой: «Rockwool» (Дания), «Partek Paroc Oy Ab» (Финляндия), «Isover Oy» (Финляндия), «Izomat» (Словакия) — для изоляции трубопроводов с положительными температурами (цилиндры, маты и плиты без покрытия или покрытые с одной стороны металлической сеткой, стеклорогожей, алюминиевой фольгой и т. д.).

Для изоляции систем холодного водоснабжения и трубопроводов с отрицательными температурами предлагаются изделия K-Flex из вспененного синтетического каучука с преимущественно закрытыми порами и температурой применения от -70 до +150 °С, производимые фирмой «L'isolante K-Flex».

Для изоляции надземных и подземных трубопроводов может применяться пеностекло «Foamglas» бельгийской фирмы «Pittsburgh Corning» — формованный материал (скорлупы, сегменты) с закрытыми порами, негорючий, с температурой применения от -260 до +485 °С и высокими прочностными свойствами.

Наибольшее распространение в промышленной теплоизоляции получили теплоизоляционные конструкции на основе жестких (цилиндры, полуцилиндры, плиты), полужестких (плиты) и мягких (плиты, маты) теплоизоляционных изделий из минерального и стеклянного волокна.

#### **4.2.2. Конструкции тепловой изоляции трубопроводов**

##### ***Полносорборные и комплектные конструкции тепловой изоляции***

Наиболее индустриальный вид изоляции — это теплоизоляционные конструкции заводского изготовления. Они разделяются на полносорборные (ПТК) и комплектные теплоизоляционные конст-

рукции (КТК). Полносборные теплоизоляционные конструкции состоят из теплоизоляционных изделий (основной теплоизоляционный слой) и покровного слоя, соединенных между собой крепежными деталями, и деталей крепления на трубопроводе [70].

Комплектные теплоизоляционные конструкции состоят из тех же элементов, что и полносборные, но собраны в единую конструкцию без соединения крепежными деталями.

Теплоизоляционные конструкции с металлическим покрытием крепят на трубопроводе с помощью самонарезающих винтов (оцинкованных или кадмированных) или бандажей; теплоизоляционные конструкции с неметаллическим покрытием — с помощью бандажей или пластмассовых кнопок. Для крепления конструкций применяют бандажы из алюминия и алюминиевых сплавов, стальной упаковочной ленты, оцинкованной или покрытой противокоррозионным составом.

**Изоляция полносборными теплоизоляционными конструкциями из минераловатных и стекловатных изделий с металлическим покрытием.** Для изоляции трубопроводов применяют цилиндры с одним продольным разрезом или полуцилиндры-скорлупы.

Теплоизоляционные изделия крепят к покровному слою. Для крепления используют шпильки, выполняемые из тонколистового металла или алюминиевой проволоки. К покровному слою также шпильками или заклепками крепят бандажы. Бандажы стягивают ключом. Для закрепления на трубопроводе нижнего полуцилиндра во избежание его провисания может быть предусмотрена специальная подвеска из алюминиевой или оцинкованной проволоки.

При необходимости отделки торцов теплоизоляционной конструкции у фланцевых соединений, арматуры, сварного шва и т. д. у торца устанавливают диафрагму, выполненную из того же металла, что и покрытие.

**Изоляция теплоизоляционными конструкциями из минераловатных и стекловатных изделий с неметаллическим покрытием.** Основной теплоизоляционный слой крепят к покровному слою шпильками из алюминиевого листа или наклеивают на основной изоляционный слой (если покровный слой выполнен из рулонных материалов). Для изоляции трубопроводов диаметром до 273 мм применяют минераловатные цилиндры, полуцилиндры, маты рулонированные, плиты мягкие минераловатные или стекловатные. Конструкцию на монтаж поставляют в комплекте с рулоном стеклопластика. Ткань разрезают на ленты для проклейки поперечных швов конструкции, если в последней не предусмотрен нахлест покровного слоя по поперечным швам, и отделки торцов изоляции. Торцы изоляции отделяют также диафрагмой, нарезанной из рулонного стекло-

пластика и наклеенной на покровный слой и торцовое разрезное кольцо из кровельной стали, устанавливаемое на трубопроводе.

Если трубопровод расположен в помещении, металлические бандажы на швах, образуемых соседними конструкциями, не устанавливают. Швы проклеивают полосками стеклопластика.

Для изоляции трубопроводов диаметром более 273 мм могут применяться цилиндры, составленные из теплоизоляционного слоя (минераловатных или стекловатных матов на связках) и покровного слоя из рулонного материала (дублированной фольги, фольгоизола). Теплоизоляционный слой приклеивают к покровному битумом, синтетическими клеями и т. д.

Теплоизоляционные конструкции на монтаж поставляют в свернутом виде скрепленными двумя бандажками из упаковочной ленты с противокоррозионным покрытием. По линии продольного разреза цилиндра и одного его торца покровный слой выступает на 40 мм для образования нахлеста при укладке на трубопроводе. Швы проклеивают тем же клеящим составом, которым приклеен основной теплоизоляционный слой.

**Изоляция комплектными конструкциями из минераловатных скорлуп или цилиндров на синтетическом связующем с металлическим покрытием.** В этой конструкции основной теплоизоляционный слой не прикреплен к покровному слою, а только вложен в него. Конструкция крепится на трубопроводе только по продольным швам покровного слоя самонарезающими винтами или бандажками.

**Конструкции тепловой изоляции трубопроводов на основе теплоизоляционных матов из минерального и стеклянного волокна.**

Маты теплоизоляционные из минеральной ваты, прошивные или на синтетическом связующем, гидрофобизированные, предназначены для тепловой изоляции трубопроводов и оборудования с температурой транспортируемых веществ от минус 180 до + 570 °С.

Маты теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна применяются для тепловой изоляции оборудования и трубопроводов с температурой теплоносителя от -60 до +180 °С.

Маты применяются для тепловой изоляции следующих объектов:

— трубопроводов тепловых сетей при наземной (на открытом воздухе, в подвалах, помещениях) и подземной (в каналах, тоннелях) прокладках;

— технологических трубопроводов с положительными и отрицательными температурами всех отраслей промышленности, включая пищевую, предприятий микробиологии, радиоэлектроники и др., где требуется соблюдение условия повышенной чистоты воздуха в помещении;

— трубопроводов горячего и холодного водоснабжения в жилищном и гражданском строительстве, а также на промышленных предприятиях;

— фланцевых соединений трубопроводов;  
 — фланцевой арматуры (задвижки, вентили, клапаны);  
 — фланцевых соединений оборудования;  
 — промышленного оборудования, включая технологические аппараты, теплообменники, резервуары для хранения холодной и горячей воды (баки-аккумуляторы), нефти и нефтепродуктов, химических веществ;

— внутренних металлических стволов дымовых труб.

Теплоизоляционные маты применяются в качестве теплоизоляционного слоя в полносборных и комплектных конструкциях, применяемых для изоляции трубопроводов и оборудования и изготавливаемых по ТУ 36-1180-85 «Индустриальные конструкции для промышленной тепловой изоляции трубопроводов, аппаратов и резервуаров».

Для тепловой изоляции трубопроводов с отрицательными температурами, холодного водоснабжения, тепловых сетей подземной канальной прокладки, трубопроводов с переменным режимом работы (охлаждение — нагревание) допускается применение только гидрофобизированных теплоизоляционных матов. Для трубопроводов холодной воды и с отрицательными температурами рекомендуется применять маты, кашированные алюминиевой фольгой.

В табл. 4.2.2 приведены технические характеристики некоторых марок минераловатных матов и плит. В табл. 4.2.3 приведены характеристики некоторых марок теплоизоляционных изделий из стекловолокна.

Теплопроводность волокнистых теплоизоляционных материалов в конструкции зависит от температуры и степени их монтажного уплотнения, что учитывается при проектировании и расчете требуемой толщины тепловой изоляции.

При уплотнении волокнистых теплоизоляционных материалов плотностью 20—60 кг/м<sup>3</sup> теплопроводность материала снижается, при этом наибольшее снижение теплопроводности наблюдается при повышенных температурах, что указывает на техническую целесообразность монтажного уплотнения минераловатных и стекловатных матов в теплоизоляционных конструкциях высокотемпературных трубопроводов и оборудования.

Рекомендуемый коэффициент уплотнения определяется с учетом деформативных свойств теплоизоляционных матов и может иметь значения в пределах от 1,2 до 4.

#### Технические характеристики некоторых марок минераловатных плит и матов

Таблица 4.2.2

Характеристика	ГОСТ 21880-94	ГОСТ 21880-94	ТУ 5762-001-01411834-98	ТУ 5762-001-01411834-98	ГОСТ 9573-96	ГОСТ 9573-96
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	100	125	50	100	75	125
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при температуре: (298 ± 5) °С (398 ± 5) °С (573 ± 5) °С	0,044 0,065 0,15	0,044 0,064 0,13	0,046 0,07 —	0,048 0,074 —	0,047 0,077 —	0,049 0,072 —
Сжимаемость, %, не более	40	30	25	15	20	12
Сжимаемость после сорбционного увлажнения, %, не более	—	—	35	20	26	16
Водопоглощение, % по массе, не более	—	—	1	1	—	—
Содержание органических веществ, % по массе, не более	2	2	от 1,5 до 3,0	от 2,8 до 4,0	3	4
Горючесть	НГ	НГ	НГ	НГ	НГ	Г1

#### Технические характеристики некоторых марок теплоизоляционных изделий из стекловолокна

Таблица 4.2.3

Характеристика	Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна			
	Плиты П-60		Маты М-25	
	ГОСТ 10499-95	ТУ 5763-002-00287697-97 («URSA»)	ГОСТ 10499-95	ТУ 5763-002-00287697-97 («URSA»)
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	св. 51 до 66	св. 50 до 66	св. 21 до 29	св. 21 до 25
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при температуре, (298 ± 5) К	0,047	0,035	0,047	0,038
Сжимаемость, %, не более	30	30	60	60
Группа горючести	Г2	Г1	Г2	НГ
Сорбционная влажность за 72 часа, % по массе, не более	5	5	4	5
Водопоглощение, % по массе, не более	—	30	—	70

Конструктивные решения тепловой изоляции и расчетные характеристики теплоизоляционных конструкций определяются параметрами изолируемого объекта, назначением тепловой изоляции, условиями эксплуатации теплоизоляционных конструкций и характеристиками используемых в конструкции теплоизоляционных и защитно-покровных материалов [44, 46, 74, 75].

Одно-, двух- и трехслойные конструкции изоляции трубопроводов с креплением теплоизоляционного слоя бандажми и подвесками (рис. 4.2.1). Минераловатные маты могут применяться для тепловой изоляции трубопроводов наружным диаметром от 45 мм и более. Для трубопроводов наружным диаметром от 45 до 159 мм включительно крепление теплоизоляционного слоя предусматривается:

– бандажми из ленты  $0,7 \times 20$  мм при укладке матов в один слой при толщине изоляции 40–100 мм. Рекомендуется устанавливать не менее трех бандажми на 1 метр длины трубопровода (на ширину мата);

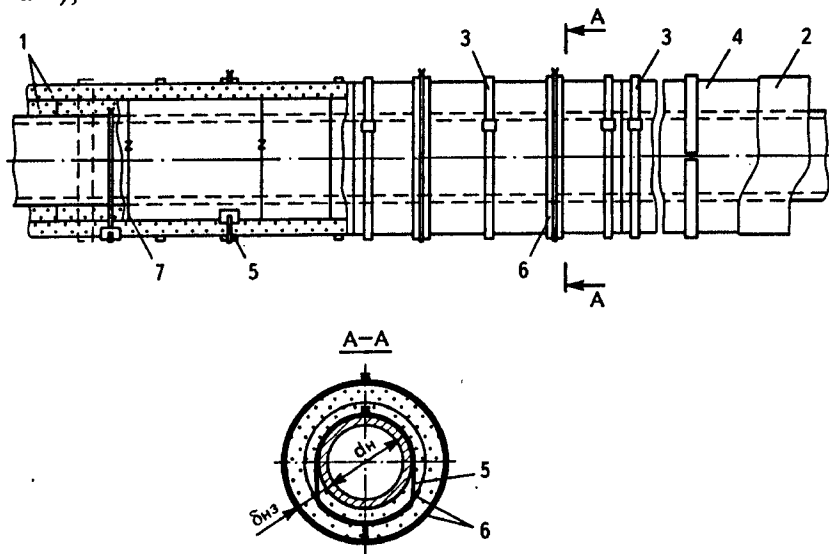


Рис. 4.2.1. Изоляция трубопроводов теплоизоляционными матами в два слоя с креплением бандажми и подвесками:

1 – маты теплоизоляционные; 2 – защитное покрытие; 3 – бандаж с пряжкой; 4 – опорное кольцо; 5 – подвеска; 6 – прокладка; 7 – проволочное кольцо

– кольцами из проволоки диаметром 2 мм для внутренних слоев двух- и трехслойных конструкций толщиной 120 мм и более. Предусмотрена установка трех проволочных колец на 1 метр длины трубопровода. Бандажми из ленты  $0,7 \times 20$  мм устанавливаются по наружному слою так же, как и в однослойной конструкции.

Для трубопроводов наружным диаметром 219 мм и более крепление теплоизоляционного слоя предусматривается:

– бандажми из ленты  $0,7 \times 20$  мм и подвесками из проволоки 1,2 мм при укладке матов в один слой при толщине изоляции 40–100 мм. Рекомендуется устанавливать не менее трех бандажми на 1 метр длины трубопровода (на ширину мата). Подвески устанавливаются равномерно между бандажми, предусмотренными для крепления каждого мата, и крепятся на трубопроводе. Под подвески устанавливаются подкладки из стеклопластика;

– кольцами из проволоки диаметром 2 мм для внутренних слоев двух- и трехслойных конструкций толщиной 120 мм и более и подвесками. Подвески второго и третьего слоев крепятся к подвескам первого слоя снизу. Бандажми из ленты  $0,7 \times 20$  мм устанавливаются по наружному слою так же, как и в однослойной конструкции.

Теплоизоляционный слой укладывается с уплотнением по толщине. Коэффициент уплотнения зависит от вида применяемого материала и может иметь значение в диапазоне от 1,2 до 4,0.

В многослойных конструкциях маты второго и последующих слоев должны перекрывать швы предыдущих.

На вертикальные трубопроводы подвески не устанавливаются. Крепление теплоизоляционного слоя осуществляется бандажми и проволочными кольцами до диаметра 476 мм включительно. Для предупреждения сползания колец и бандажми применяются струны из проволоки диаметром 2 мм. При большем диаметре предусматривается крепление на проволочном каркасе. На вертикальные трубопроводы устанавливаются разгружающие устройства с шагом 3–4 м по высоте. Бандажми из черной стальной ленты должны быть окрашены с целью предотвращения коррозии.

В теплоизоляционных конструкциях толщиной до 80 мм на горизонтальных трубопроводах предусмотрена установка опорных скоб высотой, соответствующей толщине изоляции, изготавливаемых из алюминия или оцинкованной стали в зависимости от материала металлического покрытия. Скобы устанавливаются на горизонтальные трубопроводы диаметром от 108 мм с шагом 500 мм по длине трубопровода. На трубопроводы наружным диаметром 530 мм и более устанавливаются три скобы по диаметру в верхней части конструкции и одна снизу.

В горизонтальных теплоизоляционных конструкциях толщиной до 100 мм предусмотрена установка опорных колец из ленты стальной горячекатаной  $2 \times 30$  мм с прокладками из асбестового картона. Опорные кольца устанавливаются на трубопроводы диаметром 108 мм и более при толщине изоляции 100 мм и более. Опорные кольца для трубопроводов диаметром от 530 мм и выше изготов-

ливаются из двух — четырех элементов, которые стягиваются болтами 8 × 50 мм и гайками.

Для предотвращения коррозии элементы разгружающих устройств и опорных колец из черной стали должны быть окрашены лаком БТ-577 или кремнийорганическим лаком в зависимости от температуры изолируемой поверхности. Проволока, применяемая для крепления теплоизоляционного слоя в рассмотренном случае и приведенных ниже, в зависимости от материала и температуры изолируемой поверхности, агрессивности окружающей среды может быть из черной углеродистой, оцинкованной или нержавеющей стали.

Расход теплоизоляционных материалов на изоляцию зависит от деформативных свойств применяемых изделий в зависимости от коэффициента уплотнения. Ориентировочный расход крепежных изделий на 1 м<sup>3</sup> изоляции матами и плитами для трубопроводов приведен в табл. 4.2.4.

Таблица 4.2.4

Материал для крепления теплоизоляционного слоя	Наружный диаметр трубопровода, мм							
	до 200*		57–159		219 и более		530 и более	
	Вид крепления							
	спиральное	бандажами, кольцами	бандажами и подвесками	бандажами, стяжками, кольцами				
Число слоев								
	1	1	2	1	2	1	2	
Маты минераловатные или стекловолокнистые								
Лента стальная 0,7 × 20 мм, кг	—	14	14	7,2	5,3	4,2	2,7	
Пряжка, кг	—	1,5	1,5	0,4	0,3	0,13	0,08	
Проволока Ø 1,2 мм, кг	—	—	—	0,4	0,6	1,4	1,2	
» 2,0 мм, кг	12	—	2,5	—	0,7	0,8	1,1	
Стеклопластик рулонный, м <sup>2</sup>	—	—	—	0,6	2,0	—	—	
Плиты из минеральной ваты или стекловолокна								
Лента стальная 0,7 × 20 мм, кг	—	—	—	6,3	4,0	3,4	2,2	
Пряжка, кг	—	—	—	0,19	0,11	0,1	0,06	
Проволока Ø 1,2 мм, кг	—	—	—	0,3	0,5	1,4	1,24	
» 2,0 мм, кг	—	—	—	—	0,6	0,8	0,9	
Стеклопластик рулонный, м <sup>2</sup>	—	—	—	0,6	1,5	—	—	

\* Трубопроводы с диаметром теплоизоляционной конструкции до 200 мм включительно.

Крепление теплоизоляционного слоя с помощью проволочного каркаса предусматривается для горизонтальных трубопроводов наружного диаметром 530 мм и более и вертикальных трубопроводов.

Кольца из проволоки диаметром 2—3 мм устанавливаются с шагом 500 мм по длине трубопровода на его поверхность. К кольцам прикрепляются пучки стяжек из проволоки 1,2 мм с шагом 500 мм по дуге кольца.

Предусматривается четыре стяжки в пучке при изоляции в один слой и шесть — при изоляции в два слоя. Стяжки прокалывают слои матов и закрепляются крест-накрест. Бандаж из ленты 0,7 × 20 мм с пряжками устанавливаются с шагом 500 мм при однослойной изоляции и по наружному слою при двух- и трехслойной изоляции. Вместо бандажей по внутренним слоям многослойной изоляции предусматриваются кольца из проволоки диаметром 2 мм. Скобы, опорные кольца на горизонтальных участках и разгружающие устройства на вертикальных участках трубопроводов устанавливаются, как указано выше.

Конструкция теплоизоляции трубопроводов минераловатными матами, кашированными алюминиевой фольгой (рис. 4.2.2). Такая конструкция может быть рекомендована для изоляции трубопроводов холодной воды и трубопроводов с отрицательными температурами при толщине изоляции не более 100 мм (один слой изоляции) для предотвращения конденсации влаги на поверхности изоляции. При тщательной заделке мест проколов от подвесок и стыков матов конструкция не требует дополнительного пароизоляционного слоя.

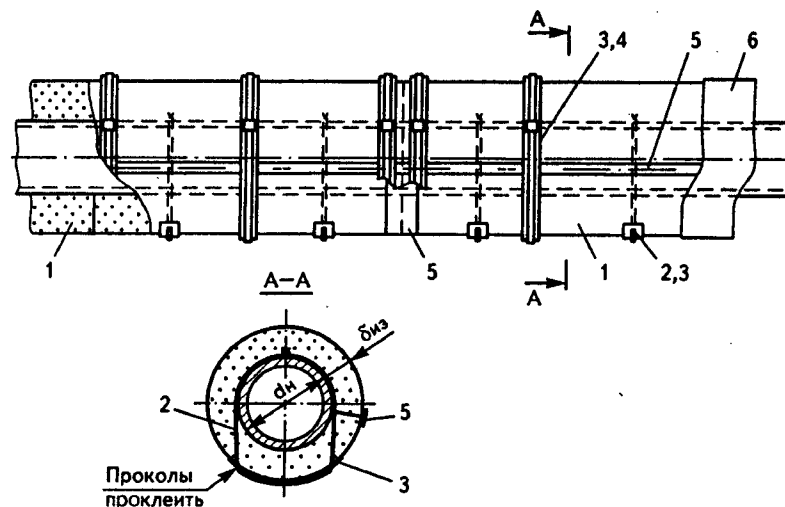


Рис. 4.2.2 Изоляция трубопроводов или воздухопроводов круглого сечения матами теплоизоляционными, кашированными фольгой в один слой: 1 — мат теплоизоляционный; 2 — подвеска проволочная; 3 — прокладка; 4 — бандаж с пряжкой; 5 — проклейка швов лентой герметизирующей; 6 — защитное покрытие

Конструкция также может быть использована без защитного покрытия для изоляции трубопроводов и с положительными температурами при их расположении в помещениях при отсутствии требований к эстетике, в тоннелях и каналах. Подвески могут быть



заменены на кольца или бандажи. Тщательной герметизации мест проколов и стыков матов в этом случае не требуется. Швы фольги рекомендуется проклеивать различными материалами с липким слоем или накладками из фольги или фольгостеклоткани.

При применении бандажей из неметаллических материалов (стеклопластика, фольгостеклоткани, полиэтиленовых или поливинилхлоридных лент, киперной ленты и др.) подкладки из стеклопластика не устанавливаются.

Расход теплоизоляционных, покровных и крепежных материалов на изоляцию матами, кашированными алюминиевой фольгой, такой же, как и для матов без покрытия фольгой. Дополнительно следует учитывать расход герметизирующей ленты ( $m^2$ ), который рекомендуется принимать равным 15 % от поверхности защитного покрытия изоляции.

В конструкциях тепловой изоляции арматуры и фланцевых соединений минераловатные или стекловатные маты используются в виде матрацев в обкладках из стеклоткани, стеклорогожи или кремнеземной ткани в зависимости от температуры изолируемых поверхностей.

Рекомендуется применение минераловатных матов в качестве теплоизоляционного слоя в съемных конструкциях тепловой изоляции:

- фланцевых соединений трубопроводов с диаметром условного прохода  $D_y \geq 50$  мм;
- приварной и фланцевой арматуры  $D_y \geq 50$  мм (задвижек, вентилей, клапанов);
- люков и фланцевых соединений оборудования.

При изоляции арматуры, фланцевых соединений трубопроводов и аппаратов маты применяются в виде матрацев с обкладками из стеклоткани при температуре изолируемой поверхности до  $450^\circ C$  и с обкладками из кремнеземной ткани при температуре изолируемой поверхности более  $450^\circ C$ .

В зависимости от вида и размеров арматуры матрацы могут быть с пришитыми крючками или без них. Матрацы к изолируемой поверхности крепятся бандажами с пряжками и перевязываются проволокой по крючкам.

Поверх матрацев устанавливается съемный металлический кожух, крепление которого может осуществляться замками, приваренными непосредственно к кожуху, или бандажами с замками, устанавливаемыми поверх кожуха.

Ширина матраца из минераловатного мата в обкладках при изоляции фланцевой арматуры и фланцевых соединений трубопроводов и аппаратов должна быть равна длине фланцевого соединения или арматуры, включая присоединительные фланцы, плюс две дли-

ны болта, соединяющего фланцевый разъем, плюс не менее чем 200 мм для установки на изоляцию трубопровода или аппарата.

При изоляции приварной арматуры матрац устанавливается встык с изоляцией трубопровода под общим покрытием.

Возможно использование матов в составе полносборных теплоизоляционных конструкций для изоляции арматуры и фланцевых соединений (футляров или полуфутляров).

При этом маты могут применяться в качестве вкладыша в футляр или полуфутляр, в виде матрацев, приклеенных к металлической поверхности кожуха или прикрепляемых шпилками.

Допускается использование матов в полносборных конструкциях с облицовкой с наружной стороны металлической сеткой с мелкой ячейкой, которая также крепится шпилками. Края сетки заделываются внутрь металлического кожуха.

Маты, кашированные с одной стороны алюминиевой фольгой, могут использоваться в качестве вкладыша в полуфутляры без металлической сетки при температуре изолируемой поверхности, соответствующей температуростойкости клеевого соединения.

**Конструкции теплоизоляции трубопроводов на основе цилиндров и полуцилиндров из волокнистых теплоизоляционных материалов** (рис. 4.2.3). Цилиндры теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем (например, по ТУ 5762-010-45757203-01) являются современным эффективным теплоизоляционным материалом, обладающим улучшенными теплотехническими характеристиками по сравнению с материалами, ранее выпускавшимися и применявшимися в России для тепловой изоляции трубопроводов [46].

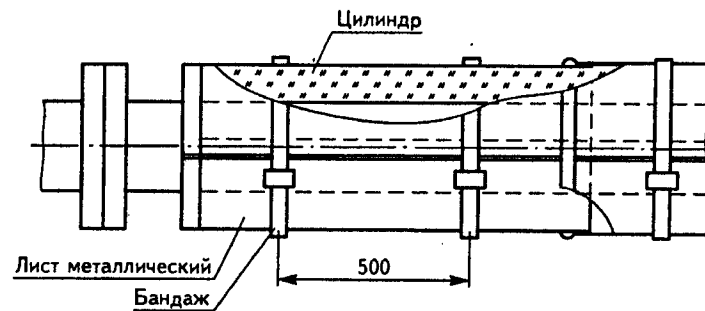


Рис. 4.2.3. Изоляция цилиндрами. Крепление покрытия бандажами

Цилиндры изготавливаются из минеральной ваты из расплава горных пород, имеющей модуль кислотности 2–2,5, со средним диаметром волокна не более 6 мкм. Сырьевые материалы, используемые при производстве цилиндров, проходят контроль по радиаци-

онной безопасности и квалифицированы как материалы первого класса (с удельной эффективной активностью естественных радионуклидов менее 370 Бк/кг), а также не выделяют в процессе эксплуатации вредных и неприятно пахнущих веществ, являются негорючим и невзрывоопасным материалом.

Предусмотрен выпуск гидрофобизированных цилиндров и цилиндров, имеющих защитное покрытие (кашированных).

Цилиндры теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем предназначены для тепловой изоляции трубопроводов с температурой транспортируемых веществ от  $-180$  до  $+600$  °С.

Цилиндры рекомендуется применять для тепловой изоляции:

- трубопроводов тепловых сетей при надземной (на открытом воздухе, в подвалах, помещениях) и подземной (в каналах, тоннелях) прокладках;

- технологических трубопроводов с положительными и отрицательными температурами всех отраслей промышленности, включая пищевую, предприятий микробиологии, радиоэлектроники и др., где требуется соблюдение условия повышенной чистоты воздуха в помещении;

- трубопроводов горячего и холодного водоснабжения в жилищном и гражданском строительстве, а также на промышленных предприятиях;

- фланцевых соединений трубопроводов, муфтовой и фланцевой арматуры, если диаметр фланцев или наружный диаметр трубопровода с изоляцией соответствует внутреннему диаметру цилиндра, используемого в качестве изоляции фланцев или арматуры.

Рекомендуется применение цилиндров в качестве теплоизоляционного слоя в полносборных и комплектных конструкциях, применяемых для изоляции трубопроводов и изготавливаемых по ТУ 36-1180-85 «Индустриальные конструкции для промышленной тепловой изоляции трубопроводов, аппаратов и резервуаров».

Для тепловой изоляции трубопроводов с отрицательными температурами, горячего и холодного водоснабжения, тепловых сетей подземной канальной прокладки, трубопроводов с переменным режимом работы (охлаждение — нагревание) следует применять только гидрофобизированные цилиндры.

Теплофизические характеристики цилиндров приведены в табл. 4.2.5.

Цилиндры применяются в качестве теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции фланцевых соединений и фланцевой арматуры с диаметром фланцев, не превышающим диаметр теплоизоляционной конструкции трубопровода, а также муфтовой арматуры.

## Теплофизические характеристики цилиндров

Таблица 4.2.5

Показатель	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	св.110 до 175
Теплопроводность, Вт/(м·К), при температуре (298 ± 5) К, не более	0,036
Содержание органических веществ, % по массе, не более	3,2
Влажность, % по массе, не более	1,0
Водопоглощение, % по массе, не более	20
Группа горючести	НГ

При этом длина вкладыша из цилиндра должна быть равна длине фланцевого соединения или арматуры, включая присоединительные фланцы, плюс две длины болта, соединяющего фланцевый разъем, плюс 200 мм для установки на изоляцию трубопровода (рис. 4.2.4).

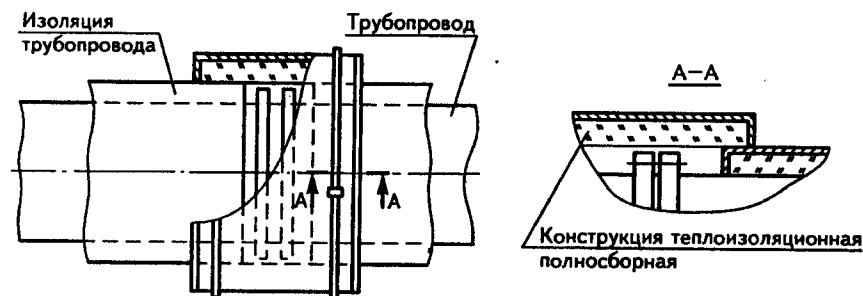


Рис. 4.2.4. Тепловая изоляция фланцевого соединения конструкцией теплоизоляционной полносборной с теплоизоляционным слоем из цилиндров

При изоляции муфтовой арматуры цилиндры устанавливаются встык с изоляцией трубопровода под общим покрытием.

Разъем цилиндра совмещается с осью привода арматуры, под привод в цилиндре делается вырез по его размеру. Цилиндр закрепляется двумя бандажами с пряжками. Поверх цилиндра устанавливается съемный кожух.

Возможно использование цилиндра в качестве вкладыша в полносборную или комплектную конструкцию для изоляции фланцевого соединения или арматуры. Цилиндр может быть прикреплен к покрытию шпильками или с помощью клеев.

При использовании в качестве изоляции арматуры или фланцевых соединений кашированных цилиндров с покрытием из фольги по краям цилиндра (на торцах) следует устанавливать диафрагмы из алюминия, а шов накрывать накладкой. Данную конструкцию рекомендуется устанавливать в помещении.

Торцы изоляции фланцевых соединений из цилиндров закрываются диафрагмами из материала защитного покрытия.

Для изоляции крутоизогнутых и гнутых отводов цилиндр разрезается на несколько частей (рис. 4.2.5). Угол реза и количество частей определяются по месту. Крутоизогнутые отводы трубопроводов малых диаметров могут изолироваться цилиндром, разрезанным надвое под углом  $45^\circ$ . Цилиндры соединяются встык по линии реза под прямым углом.

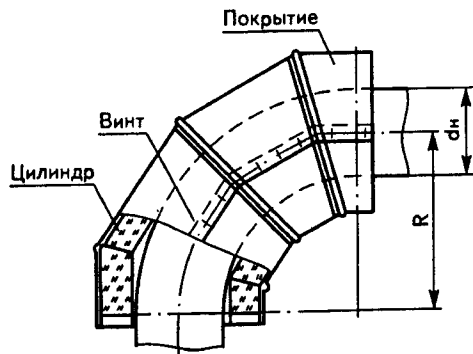


Рис. 4.2.5. Изоляция отвода цилиндрами с металлическим секционным покрытием

При установке теплоизоляционных конструкций с использованием цилиндров следует руководствоваться требованиями СНиП 2.04.14–88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Как правило, монтаж тепловой изоляции начинают от фланцевого соединения. Цилиндры устанавливают вплотную друг к другу с разбежкой горизонтальных швов и закрепляют на трубопроводе бандажами. Рекомендуется устанавливать по два бандажа на одно изделие. Интервал между бандажами 500 мм. Боковые швы цилиндров должны быть расположены вразбежку. Бандажи могут быть изготовлены из ленты упаковочной  $0,7 \times 20$  мм с окраской или алюминиевых лент шириной 30 мм. Бандажи закрепляются пряжками. Применяются пряжки бандажные по ТУ 36.16.22-64–92 или из тонколистовой оцинкованной стали толщиной 0,8 мм. Для бандажей используют упаковочную ленту или ленту из алюминия толщиной 0,8 мм. Допускается применение колец из оцинкованной или черной отожженной проволоки диаметром 2 мм или проволоки из нержавеющей стали диаметром 1,2 мм.

Защитное покрытие может крепиться бандажами или винтами.

Для изоляции трубопроводов, расположенных в помещении, и с положительными температурами транспортируемых веществ цилиндры, кашированные алюминиевой фольгой, допускается

применять без защитного покрытия. При этом в качестве бандажей рекомендуется применять ленты из алюминия и алюминиевых сплавов шириной 20 или 30 мм, толщиной 0,8 мм и алюминиевые пряжки.

Для изоляции трубопроводов холодного водоснабжения и технологических трубопроводов с температурой транспортируемых веществ ниже  $12^\circ\text{C}$  следует применять только гидрофобизированные цилиндры и устанавливать пароизоляционный слой в соответствии с требованиями СНиП 2.04.14–88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Швы пароизоляционного слоя должны быть тщательно герметизированы. Разрывы и проколы пароизоляционного слоя не допускаются.

При применении цилиндров, кашированных алюминиевой фольгой, если это особо не оговорено проектом, установки пароизоляционного слоя не требуется, но швы и стыки установленных на трубопровод цилиндров следует герметизировать. При возможном повреждении алюминиевой фольги в процессе монтажа места проколов и разрывов проклеиваются герметизирующими материалами.

При использовании цилиндров, кашированных алюминиевой фольгой, для изоляции трубопроводов холодного водоснабжения и технологических с температурой транспортируемых веществ ниже  $12^\circ\text{C}$  под металлическое защитное покрытие рекомендуется устанавливать предохранительный слой, защищающий фольгу от повреждения. При этом защитное покрытие рекомендуется крепить бандажами.

При применении цилиндров на вертикальных участках трубопроводов через каждые 3–4 метра по высоте трубы следует устанавливать разгружающие устройства для предотвращения сползания теплоизоляционного слоя и покрытия.

Для трубопроводов канальной прокладки и в тоннелях рекомендуется применение гидрофобизированных кашированных цилиндров без последующей установки защитного покрытия.

Теплоизоляционные цилиндры из минеральной ваты на основе волокна из горных пород являются высокоэффективным экологически чистым теплоизоляционным материалом, отвечающим требованиям пожарной безопасности.

Гидрофобизация, пожарная безопасность и меньшая стоимость по сравнению с импортными материалами из вспененного каучука и полистирола делает цилиндры конкурентоспособными для применения в отечественной практике в качестве изоляции трубопроводов холодного водоснабжения и технологических с отрицательными температурами.

Цилиндры как формостабильные изделия могут применяться в конструкциях тепловой изоляции горизонтальных трубопроводов без устройства опорных конструкций, возможно также их применение в качестве теплоизоляционного материала для изоляции с основной муфтовой и фланцевой арматуры небольших диаметров (вентилей, обратных клапанов) и фланцевых соединений.

Кашированные цилиндры допускается применять в помещениях и каналах (тепловые сети, водоснабжение) без устройства кровного слоя.

Цилиндры, кашированные фольгой, могут применяться для изоляции трубопроводов с отрицательными температурами без пароизоляционного слоя (при герметизации швов и мест повреждений фольги), что снизит стоимость конструкции и теплоизоляционных работ.

Монтаж цилиндров методом «надвига» для изоляции вертикальных трубопроводов и на эстакадах над проездами позволяет отказаться от лесов, что снижает сроки и стоимость работ.

#### **Теплоизоляционные конструкции на основе полуцилиндров и сегментов из жестких материалов**

К этой группе материалов относятся полуцилиндры и сегменты совелитовые, вулканитовые, асбестовермикулитовые, известково-кремнеземистые, перлитцементные и др. Для изоляции трубопроводов применяют изделия из теплостойких пенопластов, таких, как пенополиуретан (ППУ), фенольно-резольные пенопласты (ФРП) и др [70].

Полуцилиндры и сегменты устанавливают на трубопроводе по тонкому слою мастики (с заполнением швов этой же мастикой) со смещением поперечных швов или насухо с креплением теплоизоляционных изделий проволочными кольцами или бандажами (два кольца по длине полуцилиндра). Для укладки полуцилиндров и сегментов применяют мастику асбозуритовую (с температурой поверхности до 900 °С) или совелитовую (с температурой поверхности до 500 °С), для укладки пенопластов (независимо от температуры поверхности) — асбестоцементную, а также различные клеи.

Полуцилиндры из пенопластов монтируют так же, как полуцилиндры из жестких материалов. Крепят их бандажами из упаковочной ленты, стеклопластика или кольцами из оцинкованной проволоки с подкладками из стеклопластика. Теплоизоляционный слой защищают покровным.

Известково-кремнеземистые и перлитцементные изделия получают заводским способом, а сегменты из других теплоизоляционных материалов изготавливают на месте монтажа, вырезая их из

плит или заливая в формы. Сегменты в зависимости от температуры изолируемого трубопровода можно укладывать в один или несколько слоев, а также вторым и последующими слоями по первому слою полуцилиндров. Для изоляции поверхности трубопровода, имеющей высокие температуры, первый (иногда и второй) слой укладывают из полуцилиндров или сегментов, выполненных из температуростойких материалов, а верхний слой — из менее температуростойких изделий (минераловатных или стекловатных матов, плит полужестких на связках).

При многослойной изоляции сегменты укладывают со смещением швов по отношению к предыдущему слою. При расчете размеров второго и последующих слоев сегментов за диаметр изолируемого объекта принимают диаметр трубы, добавляя двойную толщину нижележащих сегментов.

**Теплоизоляционные конструкции на основе алюминиевой фольги (гладкой или гофрированной).** Конструкция [13] из гладкой фольги представляет собой многослойную изоляцию, в которой каждый слой алюминиевой фольги опирается на опорные кольца из асбестовой ткани или асбестовой бумаги, закрепленные латунной проволокой. Лист фольги, укладываемый поверх каждого ряда опорных колец, должен перекрывать опорные кольца на 10—15 мм и плотно обтягивать их. Продольные швы выполняют внахлестку на 15—20 мм и проклеивают силикатным клеем. Кроме того, швы отдельных слоев должны быть смещены по отношению друг к другу. Поверх последнего слоя алюминиевой фольги (количество слоев зависит от заданной расчетной толщины основного теплоизоляционного слоя) укладывают асбестовую бумагу, продольные швы которой проклеивают силикатным клеем, поверх бумаги — металлическую провололочную сетку с ячейками 15 × 15 мм, а затем поверхность штукатурят, оклеивают и окрашивают. Защитный слой этой конструкции может быть выполнен вместо штукатурки из листового металла, тогда металлическую сетку не устанавливают.

Конструкция из **гофрированной** алюминиевой фольги отличается тем, что опорные кольца имеют высоту, равную расчетной толщине основного изоляционного слоя. Расстояние между кольцами определяется шириной фольги и обычно равно 350—400 мм. Опорные кольца выполняют из жестких пористо-зернистых изделий или отдельных слоев асбестовой ленты или ткани, плотно навитых до заданной толщины. Гофрированную алюминиевую фольгу навивают непрерывной лентой также до заданной толщины между опорными кольцами. Расстояние между слоями 8—10 мм. Фольга должна быть плотно пригнана к опорным кольцам. Поверх опорных колец и гофрированной фольги накладывают слой гладкой фольги,

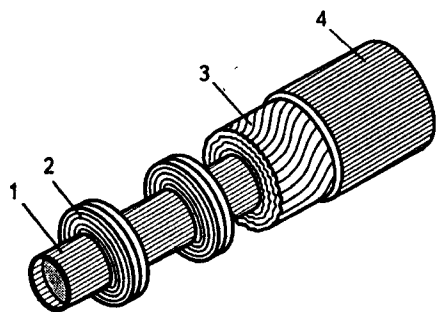


Рис. 4.2.6. Конструкция из гофрированной алюминиевой фольги:  
1 – трубопровод; 2 – опорное кольцо;  
3 – фольга; 4 – защитное покрытие

ными ее отличиями следует считать монолитность, отсутствие швов и тепловых мостиков, высокую степень механизации нанесения, простоту производства теплоизоляционных работ, возможность нанесения слоев тепловой изоляции на поверхности любой сложной конфигурации.

Напыленный теплоизоляционный слой, имеющий в своем составе асбестовые или минеральные волокна, обладает повышенной прочностью, гибкостью и упругостью, хорошо выдерживает вибрационные нагрузки и тепловые воздействия. Изоляционный слой хорошо компенсирует тепловые расширения, возникающие при нагревании, выдерживает тепловые деформации изолированных поверхностей. Каркасы для крепления тепловой изоляции выполняют в виде бандажей и привариваемых к ним при монтаже опорных шпилек. Если напылением выполняется изоляция корпуса турбины, в нижней части корпуса для крепления изоляции дополнительно устанавливают проволоочный каркас в виде сетки с ячейками 100 × 100 мм.

В качестве защитного слоя применяют асбестоперлитовую штукатурку, укладываемую по металлической сетке.

Мастичные конструкции выполняют из порошкообразных и волокнистых теплоизоляционных материалов [13, 81] и применяют как для тепловой изоляции трубопроводов, так и плоских и криволинейных поверхностей. Мастичная конструкция (рис. 4.2.7) выполняется только по горячим поверхностям,

который проклеивают силикатным клеем. Защитный слой — листовой металл (рис. 4.2.6).

В конструкциях из теплоизоляционных масс, выполняемых напылением, используют зернистые (перлит, вермикулит) и волокнистые (асбест, минеральное волокно) материалы на различных связующих. Такая конструкция составляет единое целое с изолируемой поверхностью и обладает высокой температуростойкостью. Существен-

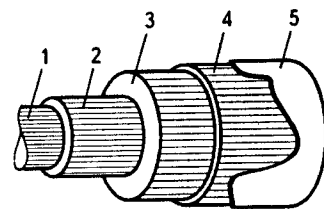


Рис. 4.2.7. Мастичная конструкция тепловой изоляции:  
1 – изолируемая поверхность;  
2 – подмазочный слой; 3 – основной слой; 4 – штукатурка; 5 – наружная отделка

нагретым до температуры не ниже 100 °С, и состоит из подмазочного 2 и основного 3 слоев, покровного слоя в виде штукатурки 4 и наружной отделки изоляции (оклейки и окраски) 5. Подмазочный слой толщиной от 3 до 5 мм служит для лучшего сцепления основного теплоизоляционного слоя с изолируемой металлической поверхностью 1. Для подмазочного слоя применяют асбест 6-го сорта, а также асбозурит, разведенные в воде в виде жидкой мастики. Основной теплоизоляционный слой выполняют мастиками из различных порошковых смесей: асботермита, асбозурита, совелита и др.

Качество выполнения мастичных конструкций изоляции во многом зависит от квалификации теплоизолировщика. Каждый слой необходимо наносить только после высыхания предыдущего. Последний слой должен быть выполнен под рейку, так как он выравнивает изоляцию и придает ей форму. Чтобы обеспечить необходимую механическую прочность слоя изоляции, внутри его устанавливают каркас из оцинкованной или черной металлической проволоки — на трубопроводах при толщине изоляции свыше 80 мм, а на плоских и криволинейных поверхностях — вне зависимости от толщины изоляции.

Для закрепления изоляционного слоя на плоских и криволинейных поверхностях большого диаметра к ним прикрепляют опоры в виде шпилек из стальной проволоки диаметром 3 мм и длиной на 10—15 мм больше толщины основного изоляционного слоя. Шпильки располагают в шахматном порядке с шагом 350 мм. На объектах, не допускающих приварки, шпильки крепят на специальных стяжных кольцах.

Покровный слой (штукатурку) выполняют по последнему, так называемому выравнивающему слою. В сырых помещениях наносят асбоцементную штукатурку, в сухих — асбозуритовую. Это более густая, чем для основного слоя, мастика, так как штукатурный слой должен быть более плотным и механически прочным. Толщину штукатурного слоя устанавливают в зависимости от расположения изолируемых объектов и назначения штукатурки (в пределах 5—20 мм). После нанесения штукатурного слоя изоляция должна быть ровной, гладкой, прочной и соответствовать форме изолируемого объекта.

После полного высыхания мастичной изоляции ее поверхность клеивают тканями и окрашивают масляными или другими красками.

Засыпные и набивные конструкции выполняют из волокнистых, порошкообразных, гранулированных и зернистых теплоизоляционных материалов [13, 81] и применяют для тепловой изоляции трубопроводов диаметром 76—325 мм, а также плоских и криволинейных по-

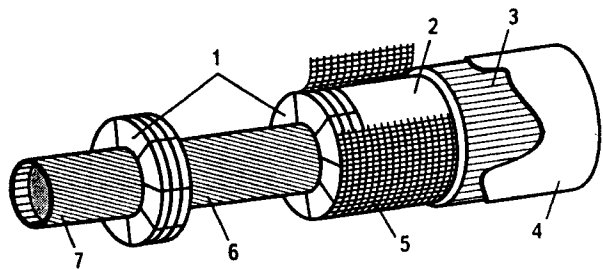


Рис. 4.2.8. Конструкция изоляции, выполненная набивкой под сетку:  
1 – опорные кольца; 2 – основной теплоизоляционный слой; 3 – штукатурный слой; 4 – наружная отделка; 5 – металлическая сетка; 6 – проволоочные кольца; 7 – изолируемый трубопровод

верхностей как горячих, так и холодных объектов (в последнем случае — под герметичный кожух).

Конструкция изоляции для горячих трубопроводов (рис. 4.2.8) состоит из опорных 1 и проволоочных 6 колец, основного теплоизо-

ляционного слоя 2, металлической сетки 5, защитного покрытия (штукатурного слоя) 3 и наружной отделки 4.

На практике в ряде случаев изоляцию трубопроводов выполняют засыпкой минеральной ватой. В этом случае на трубопроводах устанавливают дистанционные (опорные) кольца с шагом 350—400 мм, которые выполняют из самых различных материалов: соевитовых, перлитовых, известково-кремнеземистых сегментов и скорлуп, а также из металлических полуколец из полосовой стали и прутков с прокладкой под них асбестового картона и др. Высота опорных колец должна быть равной толщине основного слоя изоляции. Ширина колец 60—70 мм.

Сегменты и полукольца опорных колец изготавливают по шаблону и тщательно подгоняют друг к другу. Многослойные опорные кольца устанавливают с перекрытием швов одного слоя другим и послойно закрепляют проволоочными кольцами. Опорные кольца устанавливают перпендикулярно оси трубопровода 7 и параллельно друг другу; они должны быть устойчивы и прочны, так как механическая прочность засыпной конструкции определяется прочностью опорных колец.

Поверх опорных колец натягивают металлическую оцинкованную или обычную плетеную сетку из проволоки диаметром 1,2 мм с ячейкой 12 × 12 мм. Поперечные швы сетки должны быть расположены обязательно на опорных кольцах. По окружности продольные края сетки должны накрывать друг друга примерно на 20—30 мм.

### 4.2.3. Конструкции тепловой изоляции технологических аппаратов

Конструкции тепловой изоляции на основе теплоизоляционных матов и плит из волокнистых теплоизоляционных материалов исполь-

зуются для вертикальных и горизонтальных цилиндрических технологических аппаратов наружным диаметром более 530 мм [44, 74].

Одно- и двухслойные конструкции тепловой изоляции горизонтальных и вертикальных аппаратов с креплением теплоизоляционного слоя на каркасе. Для горизонтальных аппаратов наружным диаметром от 530 до 1420 мм включительно (емкостей, теплообменников и др.) преимущественно предусматривается крепление теплоизоляционного слоя на проволоочном каркасе (рис. 4.2.9).

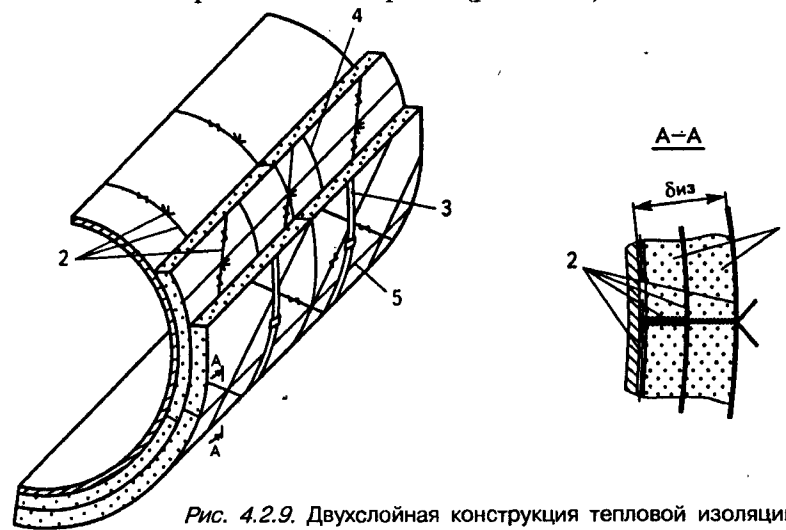


Рис. 4.2.9. Двухслойная конструкция тепловой изоляции горизонтального аппарата с креплением теплоизоляционного слоя на проволоочном каркасе:  
1 – маты теплоизоляционные; 2 – кольцо; 3 – бандаж с пружкой; 4 – кольцо по внутреннему слою; 5 – струна; 6 – стяжка

При изоляции оборудования теплоизоляционными матами по длине аппарата на его поверхность устанавливаются кольца из проволоки диаметром 2—3 мм с шагом 500—600 мм в зависимости от ширины мата. К кольцам прикрепляются пучки стяжек из проволоки 1,2 мм с шагом 500 мм по дуге кольца.

При изоляции в один слой предусматривается четыре стяжки в пучке, при изоляции в два слоя — шесть. Стяжки проходят сквозь швы, прокалывают слои матов посередине и закрепляются крестнакрест от пучка к пучку.

Поверх матов, закрепленных стяжками каркаса на поверхности оборудования, предусматривается установка бандажей из металлической ленты 0,7 × 20 мм.

Бандажи с пружками устанавливаются с шагом 450 или 500 мм, отступая от края мата на 50 или 100 мм (три бандаж для мата шириной 1200 мм) при однослойной изоляции и по наружному слою

при двухслойной изоляции. Вместо бандажей по внутренним слоям многослойной изоляции предусматриваются кольца из проволоки диаметром 2 мм с шагом 500 мм.

Опорные конструкции в виде колец следует устанавливать у фланцевых соединений и днищ аппаратов. Кольца устанавливаются также по длине аппарата с шагом 2 м. Элементы опорных конструкций в виде колец, уголков, скоб или планок могут быть приварными или крепиться с помощью болтов.

Рекомендуется предусматривать окраску элементов из черной стали для предотвращения коррозии.

Расход материалов, входящих в теплоизоляционную конструкцию, определяется размерами аппарата и его конструкцией (наличием фланцевых соединений, патрубков, выступов, ребер жесткости и т. д.).

Для конструкций тепловой изоляции на основе матов для оборудования наружным диаметром 530—1420 мм допускается крепление теплоизоляционных слоев бандажами из ленты 0,7 × 20 мм и подвесками. Бандажи устанавливаются с шагом 500 мм с отступом от края мата на 100 мм (три бандажа для мата шириной 1200 мм). Подвески из проволоки диаметром 1,2 или 2 мм располагаются между бандажами посередине. Под подвески необходимо устанавливать подкладки из стеклопластика рулонного.

При изоляции оборудования плитами из минерального и стеклянного волокна шаг установки проволочных колец по поверхности аппарата принимается 500 мм; шаг установки стяжек по дуге должен быть 500 или 600 мм. Плиты следует располагать длинной стороной (1000, 1250 мм) вдоль аппарата, короткой стороной — по периметру. Предусматриваются также три бандажа по длине плит по наружному слою. По внутреннему слою плит при двухслойной изоляции устанавливаются кольца из проволоки диаметром 2 мм.

Для вертикальных аппаратов наружным диаметром от 530 до 1420 мм — теплообменников, колонн, емкостей — крепление теплоизоляционного слоя из плит рекомендуется осуществлять с применением проволочного каркаса из проволоки диаметром 2—3 мм — для колец и струн, устанавливаемых по поверхности аппарата; проволоки диаметром 1,2 мм — для стяжек; проволоки диаметром 2 мм — для колец, устанавливаемых по внутреннему теплоизоляционному слою в двухслойных конструкциях.

Кольца на поверхности аппаратов при изоляции плитами устанавливаются с шагом 500—600 мм, пучки из стяжек — с шагом 500—600 мм по периметру колец в зависимости от размера плит.

При изоляции в один слой предусматривается четыре стяжки в пучке, при изоляции в два слоя — шесть. Стяжки проходят сквозь

швы, прокалывают слои плит посередине и закрепляются крест-накрест от пучка к пучку.

При изоляции в два слоя первый слой плит фиксируется двумя стяжками, второй — четырьмя.

Для предотвращения сползания колец предусматривается их фиксация вертикальными струнами, которые в зависимости от конструкции аппарата могут закрепляться верхним концом за фланцы, патрубки, разгружающие устройства, предусмотренные для теплоизоляционных конструкций, или к приваренным к аппарату кольцам из проволоки диаметром 5 мм.

Плиты рекомендуется располагать длинной стороной по вертикали.

Бандажи по поверхности плит устанавливаются с шагом 450—500 мм с отступлением от края плиты на 50—125 мм. Фиксация бандажей осуществляется струнами из проволоки диаметром 2 мм.

Разгружающие устройства (кольца, кронштейны) устанавливаются у фланцевых соединений и днищ аппаратов и с шагом 2—3 метра по высоте аппарата.

Они могут быть приварными или с креплением элементов конструкций на болтах. Диафрагмы, устанавливаемые на разгружающие устройства, не должны касаться защитного покрытия.

При изоляции вертикальных аппаратов матами в зависимости от конструкции аппарата расположение матов может быть горизонтальное или вертикальное.

При вертикальном расположении матов (длинной стороной по высоте аппарата) сохраняется вышеуказанное расположение элементов каркаса.

При горизонтальном расположении матов шаг колец следует изменить с 500 на 600 мм, шаг крепления стяжек на кольцах — 500 мм по дуге кольца.

Одно- и двухслойные конструкции тепловой изоляции горизонтальных и вертикальных аппаратов с креплением теплоизоляционного слоя на штырях. Крепление теплоизоляционного слоя штырями предусматривается для вертикальных и горизонтальных поверхностей с большим радиусом кривизны и плоских поверхностей (резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, баки-аккумуляторы горячей воды, резервуары питьевой воды и для технических нужд, в том числе противопожарные, металлические стволы дымовых труб, другое крупногабаритное оборудование).

Крепление теплоизоляционного слоя осуществляется с помощью вставных или приварных штырей с дополнительной перевязкой по штырям проволокой диаметром 2 мм (стяжки, струны) и с установкой бандажей.



Для горизонтальных аппаратов наружным диаметром от 1420 мм и более применяется комбинированное крепление теплоизоляционного слоя штырями (рис. 4.2.10) с перевязкой по штырям струнами и стяжками.

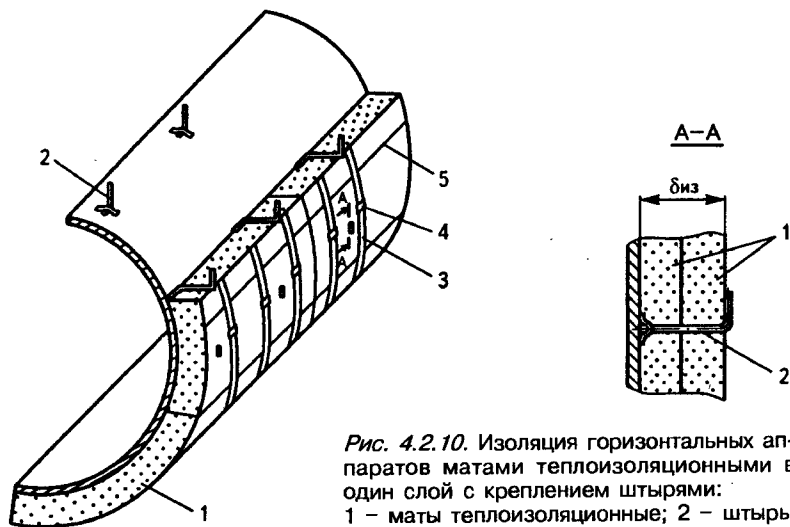


Рис. 4.2.10. Изоляция горизонтальных аппаратов матами теплоизоляционными в один слой с креплением штырями: 1 — маты теплоизоляционные; 2 — штырь; 3 — бандаж; 4 — пряжка; 5 — струна

Следует учитывать, что стандартное расположение приварных деталей (скоб из ленты 3 × 30 мм под установку штырей из проволоки диаметром 5 мм) к аппаратам на заводах осуществляется по ГОСТ 17314—81, который устанавливает шаг приварки 500 × 500 мм для вертикальных и обращенных вверх горизонтальных поверхностей, эллиптических и шаровых верхних днищ аппаратов и шаг 250 × 250 мм — для поверхностей, обращенных вниз. Такое расположение приварных деталей обусловлено стандартными размерами, кратными 500 мм, теплоизоляционных изделий, выпускаемых российскими предприятиями.

Такое расположение крепежных элементов вызывает трудности при применении изделий с другими размерами, так как требует применения дополнительных крепежных элементов для закрепления теплоизоляционного материала.

Для изоляции горизонтальных аппаратов наружным диаметром 1420 мм в конструкциях тепловой изоляции с креплением штырями могут применяться как теплоизоляционные маты, так и плиты.

Маты накладываются на штыри, установленные в заранее приваренные скобы с шагом 500 × 500 или 250 × 250 мм по поверхности аппаратов, причем с более частым шагом в нижней части аппарата.

После закрепления штырями маты дополнительно фиксируются горизонтальными струнами из проволоки диаметром 1,2 или 2 мм и крест-накрест стяжками из той же проволоки. Крепление струнами и стяжками осуществляется с перевязкой по штырям.

Затем устанавливаются бандажи с шагом 250 мм и отступом от края мата на 100 мм, если они оборачиваются вокруг аппарата (пять бандажей на один мат шириной 1200 мм). При расположении матов длинной стороной вдоль оси аппарата бандажи устанавливаются также с шагом 250 мм и с отступом от начала теплоизоляционного слоя на 100 мм.

При изоляции матами в два слоя внутренний слой крепится кольцами из проволоки диаметром 2 мм с шагом 500 мм и струнами с перевязкой по штырям, наружный теплоизоляционный слой дополнительно закрепляется стяжками с перевязкой по штырям, горизонтальными струнами и бандажами из ленты 0,7 × 20 мм.

Если скобы или штыри к аппарату на заводе не приварены и разрешена приварка к аппарату на месте монтажа, можно осуществлять приварку штырей через накладку или скоб из ленты 3 × 30 мм для вставных штырей с шагом 600 × 600 или 300 × 300 мм (по аналогии с рекомендациями ГОСТ 17314) при изоляции матами и с шагом 300 × 625 мм (625 — по длине аппарата, 300 — по периметру) при изоляции плитами с размерами 600 × 1250 мм.

При изоляции горизонтальных аппаратов плитами их следует располагать длинной стороной вдоль оси аппарата. При изоляции плитами в два слоя перевязку стяжками следует производить и по первому слою. Установка металлической сетки с ячейкой 12—25 мм из проволоки диаметром 1,0—1,2 мм увеличит плотность прилегания плит к поверхности аппарата и надежность конструкции.

Элементы опорных конструкций устанавливаются по такому же принципу, что и для аппаратов меньшего диаметра.

Вставные штыри выполняются из проволоки диаметром 4—5 мм. Длина штыря рассчитывается исходя из толщины тепловой изоляции с учетом добавки на ширину скобы и на загиб штыря на теплоизоляционный слой. Для однослойной изоляции применяют одинарные штыри, для двухслойной — двойные. Величина загиба штыря — 40 или 50 мм.

Размеры приварных скоб, одинарных и двойных штырей регламентируются ГОСТ 17314.

Для вертикальных аппаратов наружным диаметром более 1420 мм в конструкциях тепловой изоляции на основе плит или матов из волокнистых материалов также может быть использовано крепление на штырях — вставных или приварных (рис. 4.2.11).

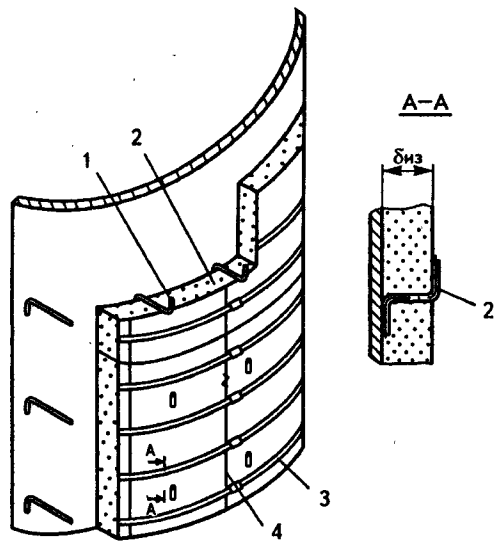


Рис. 4.2.11. Изоляция вертикальных аппаратов матами теплоизоляционными в один слой с креплением штырями: 1 — маты теплоизоляционные; 2 — штырь; 3 — бандаж с притяжкой; 4 — струна

Крепление теплоизоляционных слоев аналогично указанному выше.

Струны из проволоки диаметром 2 мм по наружному слою предусмотрены с целью фиксации бандажей.

Вместо опорных колец устанавливаются разгружающие устройства у фланцевых соединений и днищ аппаратов, а также через три метра по высоте.

**Конструкции тепловой изоляции днища вертикальных и горизонтальных аппаратов.** В зависимости от диаметра и конфигурации днищ аппаратов крепление теплоизоляционного слоя из матов или плит может осуществляться с помощью:

- проволочных стяжек и бандажей или струн из проволоки диаметром 2 мм;
- штырями, бандажами или струнами.

Как правило, одним концом бандажи и струны крепятся к проволочному кольцу, привариваемому или завязанному вокруг патрубка, другим — к проволочному или опорному кольцу (разгружающему устройству), которые устанавливаются у днищ (рис. 4.2.12).

**Конструкция тепловой изоляции фланцевого соединения аппарата.** Люки и фланцевые соединения аппаратов подлежат периодическому осмотру, и поэтому для них применяются съемные теплоизоляционные конструкции.

Съемные конструкции могут быть полносборные — в виде полуфутляров или футляров и комплектные — в виде матрасов и кожухов.

В качестве теплоизоляционного слоя в составе таких конструкций применяются маты из минерального и стеклянного волокна.

**В составе комплектных конструкций** маты следует применять в виде матрасов с обкладками со всех сторон из стеклоткани. Матрасы прошиваются стеклонитью или проволокой диаметром 0,8 мм.

Матрасы к изолируемой поверхности крепятся бандажами с пряжками.

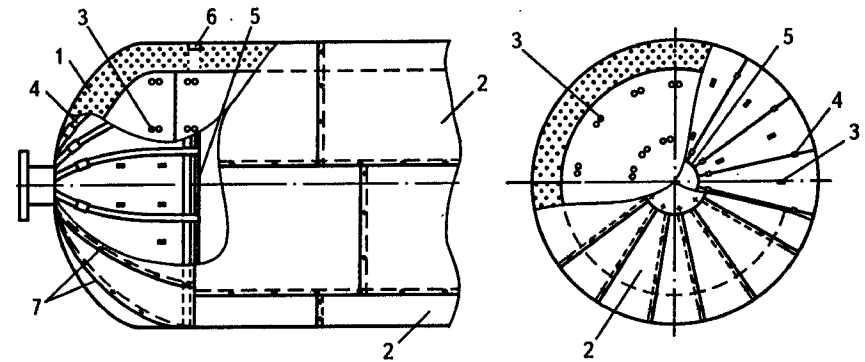


Рис. 4.2.12. Изоляция днищ горизонтальных аппаратов матами теплоизоляционными с креплением штырями и с металлическим защитным покрытием: 1 — маты теплоизоляционные; 2 — защитное покрытие; 3 — штырь; 4 — бандаж с пряжкой; 5 — проволочное кольцо; 6 — опорное кольцо; 7 — винт

Поверх матрасов устанавливается съемный металлический кожух, крепление которого может осуществляться замками, приваренными непосредственно к кожуху, или бандажами с замками, устанавливаемыми поверх кожуха.

Ширина матраса из матов в обкладках при изоляции фланцевых соединений аппаратов должна быть равна ширине фланцевого соединения плюс две длины болта, соединяющего фланцевый разъем, плюс не менее чем 200 мм для установки на поверхность теплоизоляционной конструкции аппарата, длина — наружному периметру теплоизоляционной конструкции фланцевого соединения (с учетом толщины тепловой изоляции фланца). Если толщина тепловой изоляции корпуса аппарата больше, чем высота фланца, длина матраса определяется диаметром теплоизоляционной конструкции корпуса аппарата и толщиной теплоизоляционной конструкции фланцевого соединения.

Для фланцевых соединений большого диаметра может быть предусмотрено два и более матраса по периметру фланца.

Маты могут использоваться в составе **полносборных теплоизоляционных конструкций** (полуфутляров) для изоляции люков и фланцевых соединений аппаратов.

При этом маты могут применяться в качестве вкладыша в футляр или полуфутляр в виде матрасов, приклеенных к металлической поверхности кожуха или прикрепляемых шплинтами.

Допускается использование матов в полносборных конструкциях с облицовкой с наружной стороны металлической сеткой с мелкой ячейкой, которая также крепится шплинтами. Края сетки заделываются.

ваются внутрь металлического кожуха. Возможно использование стеклосетки или стеклохолста.

Маты, оклеенные с одной стороны алюминиевой фольгой, могут использоваться в качестве вкладыша в полуфутляры без металлической сетки при температуре изолируемой поверхности, соответствующей температуростойкости клеевого соединения фольги и теплоизоляционного материала.

**Конструкция защитного покрытия горизонтального аппарата.** Для аппаратов, как правило, применяются металлические защитные покрытия. Для изготовления элементов защитного покрытия предусматриваются листы или ленты из алюминия и алюминиевых сплавов, оцинкованной или кровельной (с окраской) стали, металлопласта (рис. 4.2.13).

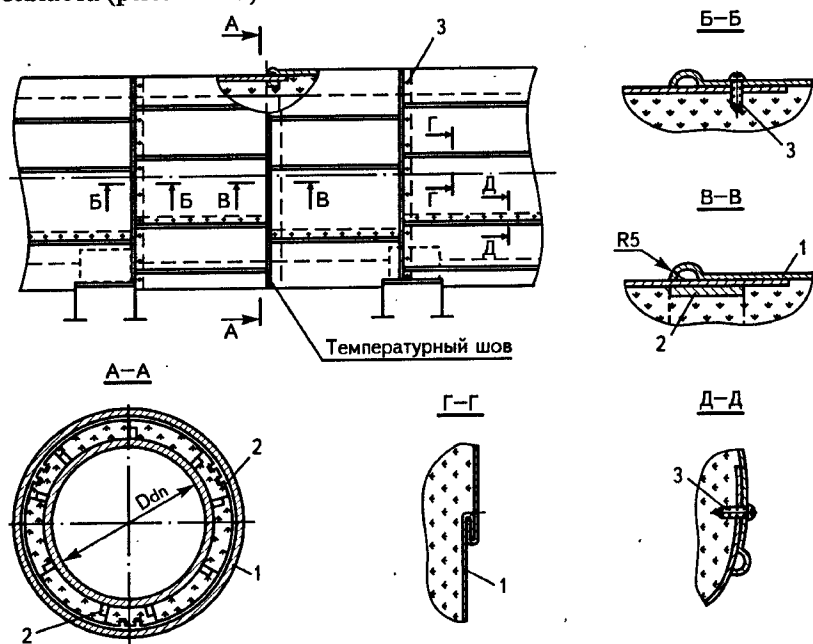


Рис. 4.2.13. Конструкция защитного покрытия тепловой изоляции горизонтального аппарата:

1 – металлическое защитное покрытие; 2 – опорное кольцо; 3 – винт самонарезающий

Крепление защитного покрытия горизонтальных аппаратов осуществляется самонарезающими винтами 4 × 12 мм с антикоррозионным покрытием или заклепками. Шаг установки винтов (заклепок): по горизонтали 150–200 мм, по окружности — 300 мм.

Для ускорения монтажа элементы защитного покрытия могут быть соединены лежащими фальцами шириной 8–10 мм (разрез

Г—Г) в крупноразмерные картины. Для придания конструкции защитного покрытия жесткости элементы покрытия изгибаются по торцам по горизонтали и по окружности с радиусом зига 5 мм.

Покрытие должно опираться на опорные кольца или другие приварные опорные элементы.

Опорные кольца могут выполняться из ленты 2 × 30, 3 × 30, 2 × 40 или 3 × 40 мм. Металлические опорные конструкции при тепловой изоляции объектов с положительными температурами поверхности должны иметь малотеплопроводные элементы для снижения температуры на поверхности защитного покрытия, соприкасающегося с ними. Как правило, используются опоры или прокладки из асбестового картона.

При изоляции поверхностей с отрицательными температурами для ликвидации «мостиков холода» используются элементы из стеклотекстолита или древесины.

В защитном покрытии аппарата по длине устраиваются температурные швы с шагом 5 м. Температурные швы выполняются без крепления винтами по окружности.

**Конструкция защитного покрытия вертикального аппарата.** Для вертикальных аппаратов, как и для горизонтальных, применяются металлические защитные покрытия (рис. 4.2.14).

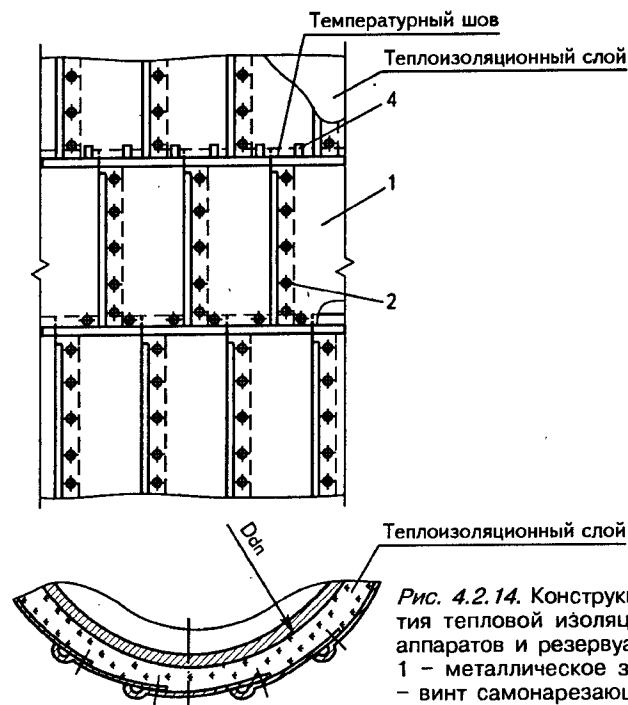


Рис. 4.2.14. Конструкция защитного покрытия тепловой изоляции для вертикальных аппаратов и резервуаров:

1 – металлическое защитное покрытие; 2 – винт самонарезающий; 3 – клеммера

Крепление защитного покрытия вертикальных аппаратов также осуществляется самонарезающими винтами  $4 \times 12$  мм с антикоррозионным покрытием или заклепками. Шаг установки винтов (заклепок): по вертикали 150–200 мм, по горизонтали — не более 300 мм.

В защитном покрытии аппарата по высоте должны быть предусмотрены температурные швы, в которых элементы защитного покрытия опираются на разгружающие устройства или клеммеры и не крепятся по горизонтали (окружности). Клеммеры могут быть установлены и на листы покрытия предыдущего ряда.

По высоте аппарата устанавливаются разгружающие устройства с шагом по высоте не более 3–4 м. Разгружающие кольца устанавливаются также у верхнего и нижнего днищ аппаратов.

Для придания конструкции защитного покрытия жесткости элементы покрытия должны быть прозигованы.

#### 4.2.4. Конструкции тепловой изоляции газопроводов и воздухопроводов прямоугольного сечения

В конструкциях тепловой изоляции газопроводов или воздухопроводов прямоугольного сечения применяются теплоизоляционные плиты и маты из волокнистых материалов.

Крепление теплоизоляционного слоя предусмотрено с помощью штырей (приварных, вставных) и бандажей (рис. 4.2.15 и 4.2.16). На углах газопроводов под бандажи или заменяющие их проволочные кольца устанавливают металлические подкладки из материала покрытия. При применении плит, оклеенных стеклохолстом, установки подкладок не требуется.

Для крепления покрытия к изолируемой поверхности привариваются скобы из ленты  $3 \times 30$  мм. Под покрытие на скобы устанавливаются прокладки из асбестового картона.

Металлическое защитное покрытие устанавливается на поверхность изоляции и крепится к скобам болтами и гайками. Листы защитного покрытия между собой скрепляются винтами.

Для изоляции воздухопроводов приточной вентиляции применяются преимущественно гидрофобизированные теплоизоляционные маты и плиты. В конструкции необходимо устройство пароизоляционного слоя, швы которого должны быть проклеены герметизирующими материалами. Количество пароизоляционных слоев определяется СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». При применении матов и плит, кашированных алюминиевой фольгой, стыки изделий и места проколов штырями герметизируются. В этом случае дополнительно может быть установлен еще один пароизоляционный слой.

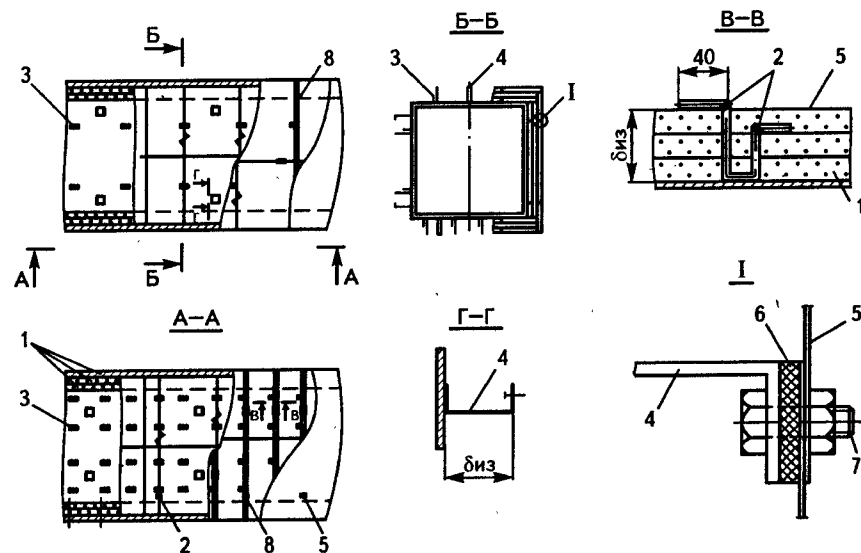


Рис. 4.2.15. Изоляция прямоугольного газопровода матами теплоизоляционными многослойная с креплением штырями:

1 – маты теплоизоляционные; 2 – проволочные струны по периметру с перевязкой по штырям; 3 – штырь; 4 – опорная скоба; 5 – защитное покрытие; 6 – прокладка; 7 – болтовое крепление; 8 – бандаж с пряжкой

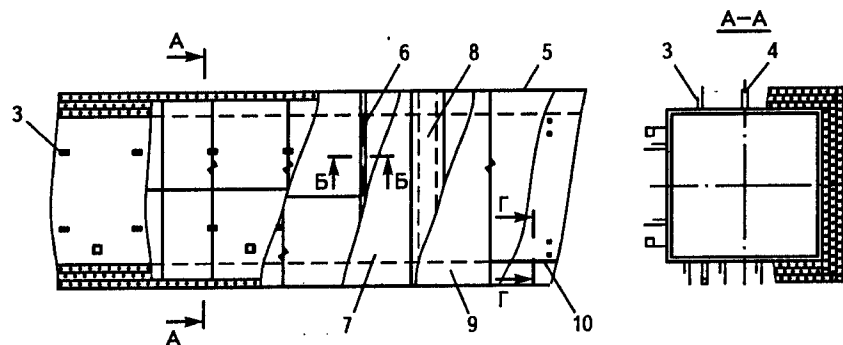


Рис. 4.2.16. Конструкция тепловой изоляции на основе матов и плит минераловатных для воздухопроводов приточной вентиляции прямоугольного сечения:

1 – маты или плиты теплоизоляционные; 2 – проволочные кольца; 3 – штырь; 4 – опорная скоба; 5 – защитное покрытие; 6 – бандаж с пряжкой; 7 – пароизоляционный слой; 8 – прокладка герметизирующей лентой; 9 – предохранительный слой; 10 – защитное покрытие

Для предотвращения повреждения пароизоляционного слоя при применении металлического защитного покрытия рекомендуется установка предохранительного слоя толщиной 15—20 мм из волокнистых материалов, например холстопрощивного или иглопробивного полотна.

К скобам вместо прокладок из асбестового картона крепятся деревянные бруски. Места стыковки пароизоляционного слоя с брусками герметизируются.

Вместо металлических скоб может применяться каркас из деревянных брусков, устанавливаемых на поверхности воздуховода. В этом случае защитное покрытие крепится к каркасу шурупами. Стыки пароизоляционного слоя также рекомендуется располагать на брусках каркаса.

#### 4.2.5. Конструкции тепловой изоляции резервуаров

**Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов.** Для тепловой изоляции резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, имеющих заранее приваренные к поверхности резервуара бандажы с шагом 3 м, применяются конструкции из навесных матрацев с теплоизоляционным слоем из теплоизоляционных матов.

Навесные матрацы навешиваются на бандажы и притягиваются к поверхности резервуара кольцами из проволоки диаметром 2 мм. Шаг установки колец следует принимать 500 мм по длине матраца (по высоте резервуара).

Стыки матрацев рекомендуется сшивать проволокой диаметром 0,8 мм.

Крыша резервуара также может изолироваться матами, которые укладываются между привариваемыми к крыше направляющими из стального уголка.

В качестве защитного покрытия предусматриваются листы из алюминия и алюминиевых сплавов или оцинкованной стали. Могут применяться профилированные листы.

Матрацы изготавливаются из матов, стеклоткани и металлической сетки в качестве обкладок.

Маты оборачиваются стеклотканью и прошиваются стеклонитью. Шаг прошивки — не более 100 мм. При прошивке маты должны быть уплотнены с коэффициентом уплотнения не менее чем 1,5. Затем с обеих сторон матраца проволокой диаметром 0,8 мм пришивается сварная металлическая сетка. Шаг прошивки также 100 мм. Поверх матраца под сеткой закрепляется крепежное устройство, состоящее из металлического прутка диаметром 8—10 мм и двух металлических крючков из прутка 8 мм.

Если резервуар не имеет заранее приваренных бандажей и допускается приварка к стенке резервуара, для тепловой изоляции резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов применяются плиты, в том числе оклеенные с одной или двух сторон стеклохолстом. Применение оклеенных плит повышает надежность теплоизоляционных конструкций (рис. 4.2.17).

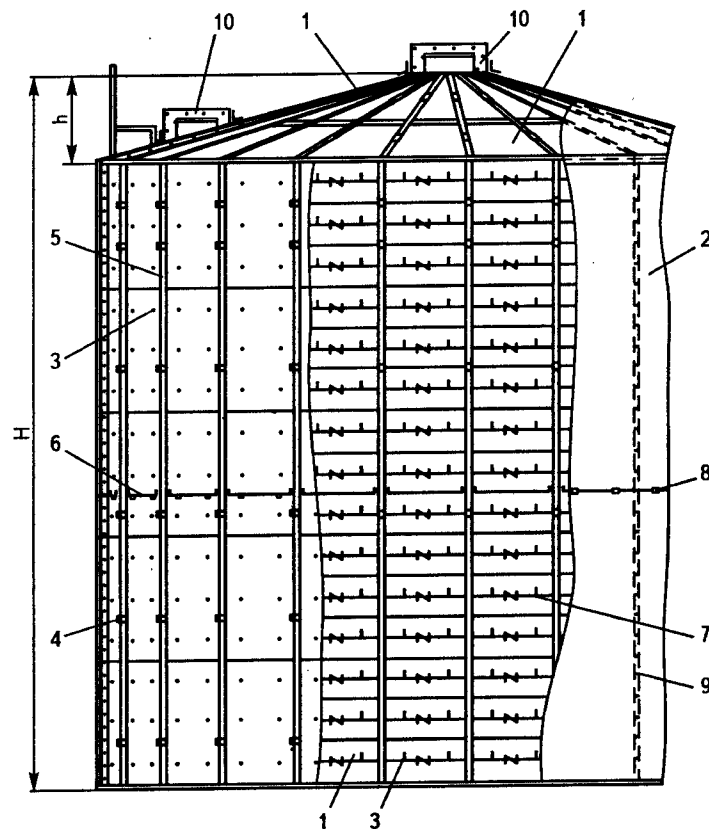


Рис. 4.2.17. Конструкция тепловой изоляции на основе плит из стекловаты для хранения нефти и нефтепродуктов с температурой не выше 80 °С: 1 — плиты из стекловолокна; 2 — защитное покрытие; 3 — штырь; 4 — скоба; 5 — стойка; 6 — диафрагма; 7 — кольцо; 8 — кляммера; 9 — шуруп; 10 — конструкция изоляции люков

Плиты крепятся к стенке резервуара штырями, защитное покрытие — шурупами к каркасу из деревянных брусков.

Может быть предусмотрено дополнительное крепление плит перевязкой по штырям проволокой (в виде колец или крест-накрест).

По высоте резервуара для предотвращения сползания теплоизоляционного слоя должны быть предусмотрены опорные полки. В месте установки опорных полок предусматриваются и температурные швы.

### Резервуары для хранения холодной воды в системах водоснабжения и пожаротушения

Для тепловой изоляции резервуаров для хранения холодной воды в системах водоснабжения и пожаротушения нефтепродуктов рекомендуется применять плиты из стеклянного или минерального волокна (гидрофобизированные).

Плиты устанавливаются в один или два слоя (рис. 4.2.18), в зависимости от расчетной толщины изоляции, между стойками деревянного каркаса, крепятся штырями с перевязкой оцинкованной проволокой по штырям.

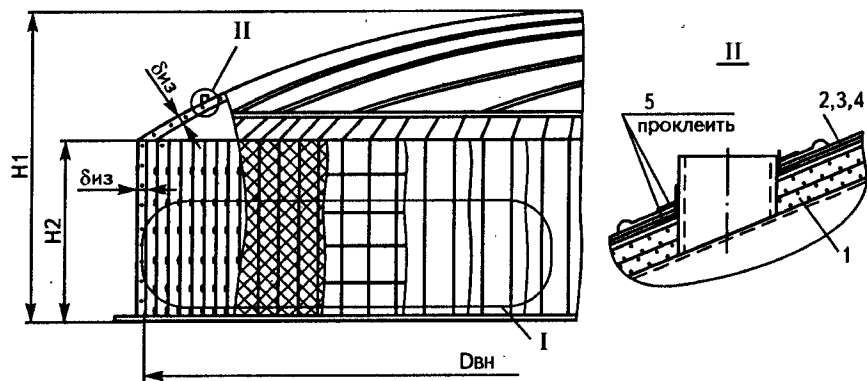


Рис. 4.2.18. Конструкция тепловой изоляции на основе минераловатных плит для резервуара для хранения холодной воды: 1 – минераловатные плиты; 2 – пароизоляционный слой; 3 – предохранительный слой; 4 – защитное покрытие; 5 – герметизирующая пена

Поверх плит устанавливается пароизоляционный слой с герметизацией швов и мест возможных проколов. Для предотвращения повреждения пароизоляционного слоя устанавливается предохранительный слой из волокнистых материалов.

Защитное металлическое покрытие крепится шурупами к деревянным конструкциям. Швы покрытия герметизируются накладками из металлического профиля и герметиком.

Приварные крепежные элементы должны быть окрашены лаком БТ-577 или другим антикоррозионным составом.

Элементы деревянного каркаса должны быть обработаны антипиреном и антисептическим составом.

### 4.2.6. Конструкции тепловой изоляции дымовых труб

Дымовые трубы тепловых электростанций и промышленных предприятий являются сложными инженерными сооружениями, проектирование, строительство и эксплуатация которых требуют комплексного решения большого количества технических задач, в том числе задачи эффективной тепловой изоляции несущих конструкций [88].

В настоящее время на объектах энергетики и в промышленности строятся, реконструируются и находятся в эксплуатации дымовые трубы различного конструктивного исполнения, включая:

- дымовые трубы с наружной железобетонной оболочкой и внутренними стальными газоотводящими стволами высотой до 270 м;
- металлические трубы, свободно стоящие или в стальном несущем каркасе, высотой до 120 м.

Дымовые трубы работают в сложных условиях, сочетающих перепады температуры, давления, влажности, агрессивное химическое воздействие дымовых газов, ветровые нагрузки и нагрузки от собственной массы.

В указанных конструкциях дымовых труб предусматривается тепловая изоляция, предназначенная для защиты несущих железобетонных и металлических конструкций труб от теплового и химического воздействия отходящих газов.

В конструкциях железобетонных труб с металлическими газоотводящими стволами, в свободно стоящих металлических трубах и трубах в металлическом каркасе теплоизоляционный слой предусматривается по наружной поверхности металлических стволов.

Тепловая изоляция металлических стволов является весьма ответственным элементом конструкции дымовой трубы, снижающим тепловые потери через стенки трубы, предотвращающим выпадение конденсата из отходящих газов на внутренней поверхности металлических стволов и ограничивающим развитие коррозионных процессов при воздействии химически агрессивных веществ на внутреннюю поверхность металлического ствола.

Так, по СП 13-101-99 тепловая изоляция оголовка железобетонных дымовых труб с газоотводящими стволами из металла снижает скорость коррозии металла в 4–6 раз в сравнении с неизолированными оголовками.

Принципиальные технические решения и проекты тепловой изоляции дымовых труб для Костромской ТЭЦ, Астраханского ГПЗ, Карагандинского МК, Норильского НХК, Кишиневской ТЭЦ, ТЭЦ-11, ТЭЦ-23, ТЭЦ-25 Мосэнерго, Северной ТЭЦ Мос-

энерго, объектов в Индии, Иране, Ираке и других разработаны институтом «Теплопроект» в 1975—1995 годах. В 1999—2000 годах институтом разработаны проекты реконструкции дымовых труб с газоотводящими металлическими стволами, включая проекты реконструкции тепловой изоляции для Костромской ТЭЦ и Астраханского ГПЗ.

Расчет требуемой толщины тепловой изоляции производится по заданной температуре на внутренней поверхности газоотводящего ствола, которая определяется исходя из необходимости предотвращения выпадения конденсата серной кислоты, разрушающей металлический ствол. При этом с учетом режима эксплуатации трубы задается допустимый перепад температур между стенкой и газами, минимальное значение которого в практике проектирования составляет до 1,5 °С.

Расчет выполняется по формулам теплопередачи и теплового баланса с учетом конвективной, кондуктивной и радиационной составляющих теплообмена между дымовыми газами, элементами конструкции трубы и окружающим воздухом.

Термическое сопротивление теплоизоляционной конструкции зависит от толщины и теплопроводности применяемого теплоизоляционного материала. Теплопроводность теплоизоляционного материала определяется с учетом температуры изолируемой поверхности и температуры поверхности изоляции.

Толщина теплоизоляционного слоя, рассчитанная из условия обеспечения перепада температур «газ — стенка» в пределах 1,5—2 °С, для большинства газоотводящих стволов дымовых труб тепловых электростанций при использовании традиционных теплоизоляционных материалов составляет 180—200 мм.

При температуре отходящих газов выше 300 °С для обеспечения заданной температуры внутри железобетонного ствола требуемая толщина теплоизоляционного слоя может достигать 300 мм.

Институтом «Теплопроект» (сегодня АО «Теплопроект») разработаны многослойные конструкции тепловой изоляции металлических стволов дымовых труб. Конструкция включает теплоизоляционный слой, защитное покрытие и узлы системы крепления теплоизоляционного слоя на приварных элементах — скобах и штырях с уплотнением металлическими бандажами и струнами.

Металлический ствол дымовой трубы монтируется из отдельных царг методом подрачивания, при этом царги должны быть изолированы на монтажной площадке до их установки в рабочее положение.

Это обстоятельство обуславливает повышенные требования к надежности конструкции крепления тепловой изоляции, обеспечивающей плотное прилегание теплоизоляционного и кровного сло-

ев к изолируемой поверхности. Конструкция тепловой изоляции должна выдерживать механические нагрузки и атмосферные воздействия при перемещении изолированных царг от места монтажа изоляции к месту их установки в рабочее положение и при монтаже готовых царг.

С учетом технологии монтажа труб важным является требование пожаробезопасности теплоизоляционных конструкций и использованных в них материалов. Материалы тепловой изоляции не должны воспламеняться при возможном попадании искр при проведении сварочных работ, не должны поддерживать горение и распространять пламя в случае возникновения пожара.

Стыки царг изолируются после их установки в рабочее положение и сварки, при этом должна быть обеспечена сплошность теплоизоляционного и кровного слоев царг и зоны сварного шва. Для этой цели предусматриваются специальные приварные элементы для крепления тепловой изоляции и покрытия.

Защитное покрытие тепловой изоляции предназначено для предохранения теплоизоляционного слоя от выветривания и разрушения при воздействии аэродинамических нагрузок, возникающих в межтрубном пространстве при естественной или принудительной вентиляции.

С учетом номенклатуры выпускаемых промышленностью теплоизоляционных минераловатных матов и плит, максимальная толщина которых составляет 80—100 мм, конструкции тепловой изоляции газоотводящих металлических стволов выполняются, как правило, трехслойными.

К поверхности царг крепление теплоизоляционного материала в обкладках из металлической сетки, стеклоткани или без обкладок осуществляется штырями из проволоки толщиной 5 мм, устанавливаемыми в приварные скобы с шагом 500 × 500 мм по горизонтали и вертикали.

Между вторым и третьим слоями в зависимости от применяемого материала теплоизоляционного слоя устанавливается металлическая сетка, плотно прижимающая их к поверхности изоляции.

По наружной поверхности теплоизоляционного слоя устанавливается защитное покрытие из стеклоткани, которое прижимается металлической сеткой. Предусматривается окраска защитного покрытия масляной краской.

В местах обслуживающих площадок и на смотровых люках устраивается съемная изоляция матрацами, как правило, из матов минераловатных прошивных безобкладочных на пришитой с одной стороны стеклоткани и металлической сетке. Матрацы изготавливаются, как правило, двухслойными.



Для тепловой изоляции коробов нижних царг, выступающих за пределы железобетонной трубы, предусматривается защитное покрытие из алюминиевого листа толщиной 1 мм с окраской внутренней поверхности листа лаком БТ-577. Покрытие крепится болтами, приваренными к ребрам жесткости, и самонарезающими винтами.

На верхней царге, выступающей за пределы железобетонного ствола, ввиду особо жестких условий эксплуатации по тепловой изоляции устанавливается защитный кожух из нержавеющей стали толщиной 2 мм.

Теплоизоляционные материалы, применяемые для тепловой изоляции газоотводящих металлических стволов, должны отвечать следующим требованиям: обладать низкой теплопроводностью, необходимой температуростойкостью, формостабильностью, быть нетоксичными, стойкими к агрессивному воздействию окружающей среды, сохранять свои физико-механические и теплофизические характеристики в течение всего срока эксплуатации, отвечать требованиям пожарной безопасности, не оказывать коррозионного воздействия на металлоконструкции.

До последнего времени в конструкциях тепловой изоляции газоотводящих металлических стволов железобетонных дымовых труб традиционно использовались плиты минераловатные на синтетическом связующем марки 125 по ГОСТ 9573—96 или маты минераловатные прошивные марки 100 и 125 по ГОСТ 21880—94.

В настоящее время перечень теплоизоляционных материалов, потенциально пригодных для использования в конструкциях тепловой изоляции металлических стволов дымовых труб, может быть расширен следующими материалами.

*Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем* по ТУ 5762-010-040011485—96 марок 100, 125, 150 изготавливаются ЗАО «Минеральная Вата» из ваты вида ВМТ из расплава горных пород, имеющей показатель водостойкости  $pH \leq 3,5$  и модуль кислотности 2—2,5, со средним диаметром волокна не более 6 мкм. В качестве связующего используется нейтрализованная фенолоформальдегидная смола с добавкой водного аммиака. Все плиты относятся к группе негорючих материалов по ГОСТ 30244. Максимальная температура применения плит марки 100—500 °С, марки 125 и 150—600 °С. Длина плит 1000 и 1200 мм, ширина 500, 600 и 1000 мм, толщина от 40 до 150 мм с интервалом 10 мм.

*Плиты теплоизоляционные энергетические (ПТЭ)* по ТУ 5761-001-00126238—00 изготавливаются из ваты базальтовой энергетической на синтетическом связующем (фенолоспирты марки Д и фенолоформальдегидная смола марки СФЖ-3056). Вата минеральная энергетическая со средним диаметром волокна не более 6 мкм, получаемая из расплава горных пород, имеет модуль кислотности не менее

1,9. Использование плит марок 100, 125 и 150 допускается при температурах до 400 °С. Длина плит 1000—2000 мм, ширина 500 и 1000 мм, толщина плит марки 150 — от 40 до 100 мм с интервалом 10 мм, толщина плит марки 100 и 125 — от 40 до 100 мм с интервалом 10 мм.

*Маты теплоизоляционные прошивные энергетические (МТПЭ)* по ТУ 5761-001-00126238—00 в обкладках с одной, двух или всех сторон и безобкладочные изготавливаются из ваты базальтовой энергетической с диаметром волокна не более 6 мкм и в зависимости от материала обкладок могут использоваться до температуры 450 или 700 °С.

*Маты базальтовые прошивные энергетические (МБПЭ)* (ТУ 5761-001-00126238—00) в обкладках с одной, двух или всех сторон и безобкладочные изготавливаются из базальтовой сверхтонкой ваты энергетической с диаметром волокна не более 3,9 мкм и имеют ту же температуру применения. В качестве обкладок для обоих видов матов применяются металлическая сетка, стеклоткань или кремнеземная ткань, базальтовая сетка, нетканый материал из стекловолокна. Рекомендуется применять маты марок 100 и 125.

Техническими условиями предусмотрен выпуск матов длиной от 2000 до 6000 мм, шириной 500 и 1000 мм, толщиной от 40 до 120 мм с интервалом 10 мм.

Физико-механические и теплофизические характеристики теплоизоляционных изделий, потенциально пригодных для использования в конструкциях тепловой изоляции металлических газоотводящих стволов дымовых труб, приведены в табл. 4.2.6.

Анализ данных табл. 4.2.6 показывает, что новые материалы имеют существенно более низкую теплопроводность, чем традиционно применяемые плиты по ГОСТ 9573—96 и маты по ГОСТ 21880—94. Применение этих материалов, при прочих равных условиях, позволяет снизить требуемую толщину теплоизоляционного слоя, а высокий модуль кислотности позволяет прогнозировать их более высокую долговечность в эксплуатации.

Следует обратить внимание проектирующих организаций на то, что применение новых теплоизоляционных материалов в конструкциях тепловой изоляции таких ответственных объектов, какими являются высотные дымовые трубы, требует тщательного анализа и обоснования.

При применении новых видов уплотняющихся волокнистых теплоизоляционных материалов следует учитывать их деформативные характеристики, а именно сжимаемость и упругость по ГОСТ 17177, а также коэффициент монтажного уплотнения в конструкции. Коэффициент монтажного уплотнения зависит от деформативных характеристик материала и от конструкции крепления и может варьироваться в диапазоне от 1,2 до 4.

**Физико-механические и теплофизические характеристики теплоизоляционных изделий  
для изоляции металлических газотводящих стволов дымовых труб**

Таблица 4.2.6

Наименование и марка теплоизоляционного материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при температуре, К:		Сжимаемость, %	Сжимаемость, % после сорбции, не более	% не более содержания органических веществ, не более	Влажность, % по массе, не более	Горючесть
		298 ± 5	398 ± 5					
Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные по ГОСТ 9573-96 марка 125	125	0,049	0,072	-	12	16	4	Г1
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем ТУ 5762-010-040011485-96 марка 100 марка 125 марка 150	св. 75 до 100	0,041	0,061		6	8	3,0	НГ
	св. 100 до 125	0,042	0,062		4	7	3,2	НГ
	св. 125 до 150	0,043	0,063		-	-	3,5	НГ
Плиты энергетические (ПЭ) ТУ 5761-001-00126238-00 марка 100 марка 125 марка 150	84-110	0,038	0,049		10	12	3	НГ
	111-138	0,038	0,049		6	7	3	НГ
	139-155	0,038	0,048		-	-	4	НГ
Маты минераловатные прошивные ГОСТ 21880-94 марка 100 марка 125	св. 85 до 110	0,044	0,065	0,15	40	-	2	НГ
	св. 110 до 135	0,044	0,064	0,13	30	-	2	НГ
Маты прошивные энергетические: МПЭ и МБПЭ ТУ 5761-001-00126238-00 марка 100 марка 125	90-110	0,038	0,049	0,09	40	-	2	НГ
	111-135	0,038	0,049	0,085	30	-	2	НГ

Защитные покрытия выполняют важные функции в конструкциях промышленной тепловой изоляции, повышая их долговечность и эксплуатационную надежность.

Применение стеклоткани в качестве защитного покрытия отвечает необходимым требованиям по пожаробезопасности и индустриальности в монтаже. Конструкции с применением стеклоткани при качественном выполнении монтажных работ прошли многолетнюю проверку в эксплуатации и хорошо себя зарекомендовали.

Вместе с тем в последние годы появилась тенденция к применению взамен стеклоткани рулонных стеклопластиков РСТ по ТУ 6-48-87-92.

Эти изделия представляют собой гибкий листовой материал, изготавливаемый из стекловолоконистых нетканых материалов и тканей с поверхностной плотностью от 100 до 850 г/м<sup>2</sup> и полимерного связующего с добавками. В качестве пропиточного состава используются карбамидоформальдегидные смолы с модификаторами, фенолоформальдегидные смолы, лаки бакелитовые, лаки кремнийорганические и другие составы. По ТУ 6-48-87-92 эти изделия относятся к группе трудногорючих и горючих материалов в зависимости от вида пропитки. Поэтому применение этих материалов в конструкциях тепловой изоляции газотводящих металлических стволов дымовых труб требует специального обоснования на основе результатов испытания конструкции на распространение пламени по высоте в условиях эксплуатации. Следует отметить, что опасность возгорания материалов покрытия существует при проведении сварочных работ во время монтажа теплоизолированных цагр. Кроме того, применение РСТ требует разработки специальных опорных элементов для закрепления покрытия из стеклопластика в конструкции.

Применение новых, нетрадиционных для энергетики теплоизоляционных и защитно-покровных материалов открывает новые возможности в части совершенствования теплоизоляционных конструкций для дымовых труб.

Так, зарубежный опыт показывает, что эффективным материалом для тепловой изоляции дымовых труб является пеностекло, производимое фирмой «Pittsburgh Corning» под фирменным знаком «Foamglas». Пеностекло фирмы «Pittsburgh Corning» характеризуется закрытой пористостью, предельно низким водопоглощением, коэффициентом теплопроводности 0,038—0,04 Вт/(м · К), предельной температурой применения до 485 °С, имеет высокие прочностные показатели, плотность 120—150 кг/м<sup>3</sup>, не требует уплотнения при монтаже. Изделия «Foamglas» относятся к группе негорючих (НГ) материалов по ГОСТ 30244 и не выделяют в процессе эксплуатации токсичных веществ. Зарубежный опыт показывает, что на основе этих изделий могут быть разработаны теплоизоляционные конст-

рукции для газоотводящих стволов дымовых труб и газоходов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

В качестве альтернативных вариантов защитных покрытий тепловой изоляции металлических стволов дымовых труб могут быть рассмотрены прошивные и иглопробивные изделия на основе холстов из стеклянных волокон с гидрофобизирующей пропиткой.

Применение современных эффективных теплоизоляционных и защитно-покровных материалов, повышение качества монтажа теплоизоляционных конструкций, систематический контроль и своевременный ремонт тепловой изоляции способствуют существенно повышению долговечности и эксплуатационной надежности дымовых труб с газоотводящими стволами из металла.

### 4.3. Расчет конструкций промышленной тепловой изоляции

Расчет толщины теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции оборудования и трубопроводов производится в зависимости от ее назначения [70, 82].

#### 4.3.1. Тепловая изоляция с целью обеспечения заданной плотности теплового потока с поверхности изолированного объекта

Допустимое значение плотности теплового потока с поверхности изолированного объекта может определяться требованиями технологического процесса, общим тепловым балансом предприятия или нормативными значениями плотности теплового потока по Приложению 4 СНиП 2.04.14–88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» с изменением № 1 от 31.12.97 г.

Расчетная толщина тепловой изоляции трубопроводов надземной прокладки, определяемая по заданной плотности теплового потока, зависит от расположения изолируемого объекта (на открытом воздухе или в помещении), температуры окружающего воздуха ( $t_o$ ), температуры теплоносителя ( $t_m$ ), наружного диаметра трубопровода ( $d_n$ ) и величины заданного или нормативного теплового потока ( $q$ ).

Для плоских поверхностей и поверхностей с большим радиусом кривизны ( $R \geq 0,7$  м) толщина теплоизоляционного слоя определяется по допустимой плотности теплового потока с квадратного метра поверхности изолированного объекта.

Расчет выполняется по формуле

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \cdot \left( \frac{t_m - t_o}{q} - \frac{1}{\alpha_n} \right), \quad (4.18)$$

где  $\lambda_{из}$  — теплопроводность изоляционного слоя, Вт/(м·°С);  
 $t_m$  — температура теплоносителя, °С;

$t_o$  — среднегодовая температура окружающего воздуха — для трубопроводов и оборудования, расположенных на открытом воздухе, или температура в помещении, °С;

$q$  — плотность теплового потока с квадратного метра поверхности, Вт/м<sup>2</sup>;

$\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающий воздух, Вт/(м·°С)

Теплопроводность теплоизоляционного слоя определяют при средней температуре теплоизоляционного слоя.

Для трубопроводов наружным диаметром до 1420 мм включительно толщина тепловой изоляции по заданной линейной плотности теплового потока (плотность теплового потока с метра длины) для трубопровода заданного диаметра при заданной температуре определяется по формуле

$$\ln \frac{d_{из}}{d_n} = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из} \cdot \left( \frac{t_m - t_o}{q_l} - \frac{1}{\pi \cdot d_n \alpha_n} \right), \quad (4.19)$$

где  $d_n$  — наружный диаметр изоляционной конструкции, м;

$d_{из}$  — наружный диаметр изолируемого объекта, м;

$t_m$  — температура теплоносителя, °С;

$t_o$  — среднегодовая температура окружающего воздуха — для трубопроводов, расположенных на открытом воздухе, или температура в помещении, °С;

$q_l$  — расчетная линейная плотность теплового потока, Вт/м;

$\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающий воздух, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

При расчете по нормированной линейной плотности теплового потока расчет по формуле (4.19) производят для трубопроводов наружным диаметром до 1020 мм включительно

Толщину изоляции вычисляют по формуле

$$\delta_{из} = \frac{d_n}{2} \cdot \left( \frac{d_{из}}{d_n} - 1 \right), \quad (4.20)$$

где  $\delta_{из}$  — толщина изоляции, м.

При определении толщины теплоизоляционного слоя из минераловатных или стекловатных матов в конструкциях тепловой изоляции теплопроводность принимается с учетом монтажного уплотнения теплоизоляционного материала в конструкции.

Расчетные значения округляются до толщины, кратной 10 мм. При расчетном значении толщины, на 3 мм большем, чем ближайшее значение, кратное 10 мм, принимается его меньшее значение; если расчетная толщина изоляции больше чем на 3 мм ближайшего кратного 10 мм значения, принимается, соответственно, его большее значение.

### 4.3.2. Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования с целью обеспечения заданной температуры на поверхности изоляции

Тепловую изоляцию трубопроводов и оборудования по заданной температуре на поверхности выполняют в случае, когда тепловые потери трубопровода не регламентированы, но в соответствии с требованиями техники безопасности необходимо защитить обслуживающий персонал от ожогов или снизить тепловыделения в помещении.

В соответствии с санитарными нормами и требованиями СНиП 2.04.14-88 температура поверхности расположенных в помещении изолированных трубопроводов при температуре теплоносителя ниже 100 °С не должна превышать 35 °С, а при температуре теплоносителя 100 °С и более не должна превышать 45 °С.

В обслуживаемой зоне на открытом воздухе температура поверхности изоляции с металлическим защитным покрытием должна быть не выше 55 °С, а для других видов покрытий не должна превышать 60 °С.

Толщина тепловой изоляции трубопроводов, определяемая по заданной температуре на ее поверхности, зависит от расположения изолируемого объекта (на открытом воздухе или в помещении), температуры окружающего воздуха ( $t_o$ ), температуры теплоносителя ( $t_m$ ), наружного диаметра трубопровода ( $d_n$ ) и коэффициента теплоотдачи от поверхности к окружающему воздуху ( $\alpha_n$ ), Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Расчет толщины тепловой изоляции для плоских поверхностей выполняется по формуле

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}(t_m - t_k)}{\alpha_n(t_k - t_o)} \quad (4.21)$$

Расчет толщины тепловой изоляции для трубопроводов выполняется по формуле

$$\frac{d_{из}}{d_n} \ln \frac{d_{из}}{d_n} = \frac{2 \cdot \lambda_{из} \cdot (t_m - t_k)}{\alpha_n \cdot d_n \cdot (t_k - t_o)} \quad (4.22)$$

где  $t_k$  — температура на поверхности изоляционной конструкции, °С;

$t_m, t_o, d_{из}, d_n$  — те же, что и формулах (4.21) и (4.22).

Коэффициент теплоотдачи ( $\alpha_n$ ) принимают в соответствии с Приложением 9 СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

При выборе защитного покрытия тепловой изоляции трубопроводов, расположенных в помещении, следует учитывать радиационные свойства его поверхности. Для снижения толщины теплоизо-

ляционного слоя рекомендуется применять защитное покрытие с высоким коэффициентом излучения (неметаллическое). Для тех же расчетных условий при металлическом защитном покрытии расчетная толщина изоляции существенно выше.

В табл. 4.3.1 в качестве примера приведены ориентировочные значения толщины теплоизоляционного слоя из минераловатных матов для конструкций тепловой изоляции трубопроводов и оборудования, рассчитанные с целью обеспечения заданной температуры на поверхности изоляции с металлическим покрытием.

Расчет произведен при температуре воздуха в помещении 20 °С.

**Ориентировочные значения толщины теплоизоляционного слоя из минераловатных матов для конструкций тепловой изоляции трубопроводов и оборудования, рассчитанные с целью обеспечения заданной температуры на поверхности изоляции с металлическим покрытием**

Таблица 4.3.1

Наружный диаметр трубопровода, мм	Температура изолируемой поверхности, °С									
	до 150	200	250	300	350	400	450	500	550	570
	Толщина теплоизоляционного слоя в конструкции, мм									
25	40	40	50	60	70	80	90	100	110	120
32	40	40	50	60	70	90	110	120	140	140
45	40	40	50	70	80	100	110	130	140	140
57	40	40	50	70	90	100	120	140	150	150
76	40	40	60	70	90	110	130	150	160	160
89	40	40	60	80	90	110	130	150	170	170
108	40	40	60	80	100	120	140	160	180	180
133	40	50	60	80	100	120	140	170	190	200
159	40	50	70	90	110	130	150	170	200	210
219	40	50	70	90	110	140	160	190	210	220
273	40	50	70	90	120	140	170	200	220	230
325	40	50	70	100	120	150	170	200	230	240
377	40	50	70	100	120	150	180	210	240	240
426	40	50	70	100	130	150	180	210	240	250
476	40	50	80	100	130	160	180	220	250	250
530	40	50	80	100	130	160	190	220	250	260
630	40	50	80	100	130	160	190	230	260	270
720	40	50	80	110	132	160	200	230	270	280
820	40	50	80	110	130	170	200	240	270	290
920	40	50	80	110	140	170	200	240	280	290
1020	40	50	80	110	140	170	210	240	280	300
Более 1020 и плоские поверхности	40	60	90	120	160	200	240	290	320	320

### 4.3.3. Тепловая изоляция трубопроводов с целью предотвращения замерзания содержащейся в них жидкости

Тепловую изоляцию с целью предотвращения замерзания жидкости при прекращении ее движения предусматривают для трубопроводов, расположенных на открытом воздухе. Как правило, это актуально для трубопроводов малого диаметра, имеющих малый запас аккумулированного тепла.

Время, на которое тепловая изоляция может предохранить транспортируемую жидкость от замерзания при остановке ее движения, зависит от температуры жидкости и окружающего воздуха, скорости ветра, внутреннего диаметра, толщины и материала стенки трубопровода, параметров транспортируемой жидкости. К параметрам, влияющим на длительность периода до начала замерзания, относятся: плотность, температура замерзания, удельная теплоемкость, скрытая теплота замерзания.

Чем больше диаметр трубопровода и выше температура жидкости, тем меньше вероятность замерзания.

Чем больше скорость ветра и ниже температура жидкости (холодной воды) и окружающего воздуха, меньше диаметр трубопровода, тем больше вероятность замерзания жидкости. Уменьшает вероятность замерзания холодной воды применение изолированных неметаллических трубопроводов.

Толщину тепловой изоляции рассчитывают по формуле

$$\ln \frac{d_{из}}{d_n} = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из} \left\{ \frac{3,6 \cdot K \cdot z}{2 \cdot (t_m - t_3) \cdot (v_m \rho_m c_m + v_{cm} \rho_{cm} c_{cm}) + \frac{0,25 \cdot v_m \rho_m r_m}{t_3 - t_o}} - \frac{1}{\pi \cdot d_n \cdot \alpha_n} \right\}, \quad (4.23)$$

где  $v_m$  — объем жидкости на метр длины трубопровода,  $m^3$ ;  
 $\rho_m$  — плотность жидкости,  $kg/m^3$ ;  
 $c_m$  — удельная теплоемкость жидкости,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;  
 $v_{cm}$  — объем стенки на метр длины трубопровода,  $m^3$ ;  
 $\rho_{cm}$  — плотность,  $kg/m^3$ ;  
 $c_{cm}$  — удельная теплоемкость материала стенки,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;  
 $r_m$  — скрытая теплота замерзания (плавления),  $kJ/kg$ ;  
 $z$  — время предполагаемой приостановки движения жидкости, ч;  
 $K$  — коэффициент, учитывающий дополнительные потери на опорах трубопроводов.

В частном случае для стального водопровода формула имеет вид:

$$\ln \frac{d_{из}}{d_n} = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из} \left\{ \frac{K \cdot z}{2326 \cdot \left[ \frac{t_m \cdot (v_m + 0,9 \cdot v_{cm})}{t_m - 2 \cdot t_o} - \frac{10 \cdot v_m}{t_o} \right]} - \frac{1}{\pi \cdot d_n \cdot \alpha_n} \right\}. \quad (4.24)$$

Температуру окружающего воздуха следует принимать среднюю наиболее холодной пятидневки с обеспечением 0,98 для региона, где расположен трубопровод.

Коэффициент, учитывающий дополнительные потери на опорах, — 1,2.

Ориентировочное время, в течение которого тепловая изоляция из минераловатных цилиндров предотвращает замерзание холодной воды с начальной температурой  $5^\circ C$  в трубопроводах при аварийной остановке ее движения в зимнее время при температуре окружающего воздуха  $-20^\circ C$ , приводится в табл. 4.3.2.

При расчетной температуре воды ниже  $+5^\circ C$  и температуре окружающего воздуха ниже  $-20^\circ C$  или для других жидких вязких веществ необходимо проведение расчетов по формуле (4.23) или (4.24).

**Ориентировочное время, в течение которого тепловая изоляция из минераловатных цилиндров заданной толщины предотвращает замерзание холодной воды с начальной температурой  $5^\circ C$  в трубопроводах при аварийной остановке ее движения в зимнее время при температуре окружающего воздуха  $-20^\circ C$**

Таблица 4.3.2

Наруж. диаметр $d_n$ , мм	Толщина цилиндра, мм						
	20	30	40	50	60	70	80
Время до замерзания воды при остановке, ч							
18	*	1	1	1	1	*	*
25	*	1	2	2	2	*	*
32	2	2,5	3	3	3,5	*	*
38	2	3	3,5	4	4	*	*
45	3	4	4,5	5	*	*	*
57	4	5	6	7	9	9	9
76	5,5	7,5	9	10,5	11,5	13	14
89	7	9,5	12	14	16	17	18
108	8	12	14	17	19	21	23
114	9	13	16	18	20	23	25
133	11	15	19	23	26	29	32
159	14	19	24	28	32	36	40
219	20	28	35	42	48	*	*
273	*	32	40	*	*	*	*

#### 4.3.4. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов с целью предотвращения конденсации влаги на поверхности изоляции

Расчет толщины тепловой изоляции с целью предотвращения конденсации влаги из воздуха на поверхности изоляции выполняют для оборудования и трубопроводов, расположенных в помещении, содержащих вещества с температурой ниже температуры окружающего воздуха, в том числе холодную воду. Для объектов, расположенных на открытом воздухе, такой расчет не выполняют.

На величину толщины теплоизоляционного слоя для предотвращения конденсации влаги из воздуха на поверхности теплоизоляционной конструкции влияют относительная влажность окружающего воздуха ( $\varphi$ ), температура воздуха в помещении ( $t_o$ ) и вид защитного покрытия. При использовании покрытия с высоким коэффициентом излучения (неметаллического) расчетная толщина изоляции существенно ниже.

Расчетную толщину теплоизоляционного слоя для поверхностей с большим радиусом кривизны и плоских определяют по формуле

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}}{\alpha_n} \left( \frac{(t_o - t_m)}{(t_o - t_k)} - 1 \right) \quad (4.25)$$

Расчетную толщину тепловой изоляции для трубопроводов определяют по формуле

$$\frac{d_{из}}{d_n} \ln \frac{d_{из}}{d_n} = \frac{2 \cdot \lambda_{из}}{\alpha_n \cdot d_n} \left( \frac{t_o - t_m}{t_o - t_k} - 1 \right) \quad (4.26)$$

после определения  $d_{из}/d_n$  толщину изоляции определяют по формуле.

Для определения толщины изоляции задают температуру на поверхности изоляции ( $t_k$ ) выше «точки росы» при температуре и относительной влажности окружающего воздуха ( $\varphi$ ) в помещении.

Допустимый перепад температур ( $t_o - t_k$ ) рекомендуется принимать по табл. 4.3.3.

Коэффициент теплоотдачи следует принимать в соответствии с Приложением 9 СНиП 2.04.14-88.

Толщина тепловой изоляции из минераловатных изделий с теплопроводностью 0,041 Вт/(м·°С), рассчитанная при температуре воздуха в помещении 20 °С и относительной влажности 75 %, приведена в табл. 4.3.4. С повышением относительной влажности воздуха при отсутствии вентиляции толщина изоляции возрастает. При

#### Допустимый перепад температур ( $t_o - t_k$ )

Таблица 4.3.3

Температура воздуха, $t_o$ , °С	Относительная влажность воздуха, $\varphi$ , %				
	50	60	70	80	90
	Расчетный перепад ( $t_o - t_k$ ), °С				
10	9,8	7,3	5,1	3,1	1,5
12	9,9	7,3	5,1	3,1	1,5
14	10,1	7,4	5,2	3,2	1,5
16	10,2	7,6	5,3	3,3	1,5
18	10,4	7,7	5,4	3,3	1,5
20	10,5	7,8	5,4	3,4	1,5
22	10,7	7,9	5,5	3,4	1,5
24	10,9	8,0	5,6	3,5	1,6
26	11,0	8,2	5,7	3,5	1,6
28	11,2	8,3	5,8	3,6	1,6
30	11,4	8,4	5,9	3,6	1,6
35	11,8	8,8	6,1	3,8	1,7

#### Толщина тепловой изоляции из минераловатных изделий, рассчитанная при температуре воздуха в помещении 20 °С и относительной влажности 75 %

Таблица 4.3.4

Наружный диаметр трубопровода, мм	Вид защитного покрытия									
	металлическое					неметаллическое				
	Температура изолируемой поверхности, °С									
	до 0	-10	-20	-30	-40	до -10	-20	-30	-40	
Толщина теплоизоляционного слоя в конструкции, мм										
25	40	40	40	50	60	40	40	40	40	
32	40	40	40	50	60	40	40	40	50	
45	40	40	50	50	60	40	40	40	50	
57	40	40	50	60	70	40	40	40	50	
76	40	40	50	60	70	40	40	50	50	
89	40	40	50	60	70	40	40	50	60	
108	40	40	50	60	70	40	40	50	60	
133	40	40	60	70	80	40	40	50	60	
159	40	40	60	70	80	40	40	50	60	
219	40	50	60	70	80	40	50	60	60	
273	40	50	60	70	90	40	50	60	70	
325	40	50	60	80	90	40	50	60	70	
377	40	50	60	80	90	40	50	60	70	
426	40	50	60	80	90	40	50	60	70	

Наружный диаметр трубопровода, мм	Вид защитного покрытия								
	металлическое					неметаллическое			
	Температура изолируемой поверхности, °С								
	до 0	-10	-20	-30	-40	до -10	-20	-30	-40
Толщина теплоизоляционного слоя в конструкции, мм									
476	40	50	60	80	90	40	50	60	70
530	40	50	60	80	90	40	50	60	70
630	40	50	70	80	100	40	50	60	70
720	40	50	70	80	100	40	50	60	70
820	40	50	70	80	100	40	50	60	70
920	40	50	70	80	100	40	50	60	70
1020	40	50	70	80	100	40	50	60	70
Более 1020 и плоские поверхности	40	50	70	90	110	40	50	70	80

применении других теплоизоляционных материалов и других параметров (температуре и влажности) воздуха в помещении требуемая толщина изоляции определяется расчетом по формуле 4.25 или 4.26.

#### 4.3.5. Тепловая изоляция трубопроводов водяных тепловых сетей двухтрубной подземной канальной прокладки

Для двухтрубной прокладки в одноячейковом непроходном канале линейную плотность теплового потока по заданным теплоизоляционным конструкциям и конструкции непроходного канала определяют по формулам:

для подающего трубопровода:

$$q_1 = \frac{t_{1m} - t_{zp}}{R_1}, \quad (4.27)$$

где  $t_{1m}$  — температура теплоносителя в подающем трубопроводе, °С;

$t_{zp}$  — температура грунта на глубине заложения трубопровода, °С;

$R_1$  — полное термическое сопротивление подающего трубопровода,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ ;

для обратного трубопровода:

$$q_2 = \frac{t_{2m} - t_{zp}}{R_2}, \quad (4.28)$$

где  $t_{2m}$  — температура теплоносителя в обратном трубопроводе, °С;

$R_2$  — полное термическое сопротивление обратного трубопровода,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ .

$$R_1 = R_{1mp} + R_{кан} + R_{1доп}; \quad (4.29)$$

$$R_2 = R_{2mp} + R_{кан} + R_{2доп}; \quad (4.30)$$

где:  $R_{1mp}$  и  $R_{2mp}$  — термические сопротивления соответственно для подающего и обратного трубопроводов,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ ;

$R_{1доп}$ ,  $R_{2доп}$  — дополнительные термические сопротивления взаимного влияния соответственно для подающего и обратного трубопроводов,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ ;

$R_{кан}$  — термическое сопротивление канала,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ .

$$R_{1доп} = \psi_{1кан} \cdot R_{кан}; \quad (4.31)$$

$$R_{2доп} = \psi_{2кан} \cdot R_{кан}; \quad (4.32)$$

где  $\psi_{1кан}$ ,  $\psi_{2кан}$  — коэффициенты, определяющие дополнительное термическое сопротивление соответственно для подающего и обратного трубопроводов в канале.

$$\psi_{1кан} = [(t_{2m} - t_{zp})R_{1mp} - (t_{1m} - t_{2m}) \cdot R_{кан}] / [(t_{1m} - t_{zp})R_{2mp} + (t_{1m} - t_{2m}) \cdot R_{кан}]; \quad (4.33)$$

$$\psi_{2кан} = [(t_{1m} - t_{zp})R_{2mp} + (t_{1m} - t_{2m}) \cdot R_{кан}] / [(t_{2m} - t_{zp})R_{1mp} - (t_{1m} - t_{2m}) \cdot R_{кан}]. \quad (4.34)$$

#### Расчетная среднегодовая температура теплоносителя подающего и обратного трубопроводов

Таблица 4.3.5

Температурные режимы водяных тепловых сетей, °С	95–70	150–70	180–70
Трубопровод	Расчетная температура теплоносителя ( $t_m$ ), °С		
Подающий	65	90	110
Обратный	50	50	50

При расчетах тепловой изоляции трубопроводов подземной двухтрубной канальной прокладки тепловых сетей следует принимать:

а) расчетную среднегодовую температуру теплоносителя подающего и обратного трубопроводов — по табл. 4.3.5;

б) расчетную температуру наружной среды при глубине заложения до верха канала 0,7 м и менее:

— при круглогодичной работе тепловой сети — среднегодовую температуру наружного воздуха;

— при работе только в отопительный период — среднюю за отопительный период;



в) при глубине заложения верха канала более 0,7 м — среднюю за год температуру грунта на глубине заложения оси трубопроводов.

Ориентировочная толщина изоляции из эффективных минераловатных и стекловолоконистых изделий, отвечающая нормам плотности теплового потока для трубопроводов тепловых сетей двухтрубной подземной канальной прокладки, приведена в табл. 4.3.6.

**Ориентировочная толщина тепловой изоляции из минераловатных и стекловолоконистых изделий, отвечающая нормам плотности теплового потока для трубопроводов тепловых сетей подземной канальной двухтрубной прокладки**

Таблица 4.3.6

Наружный диаметр трубопровода, мм	Трубопровод		
	прямой/обратный	прямой/обратный	прямой/обратный
	Средняя температура теплоносителя, °С		
	65/50	90/50	110/50
Толщина теплоизоляционного слоя, мм			
32	40	40	40
45	40	40	40
57	40	40	40
76	40	40	40
89	40	40	40
108	40	40	50
133	40	40	50
159	50	50	60
219	50	50	60
273	50	60	60
325	50	60	70
377	50	60	70
426	50	60	70
476	60	60	70
530	60	60	70
630	60	60	70
720	60	60	70
820	60	60	70
920	60	60	70
1020	60	60	70
1220	60	70	80
1420	60	70	80

Расчет выполнен для трубопроводов, проложенных в лотковых одноячейковых каналах (марки МКЛ) на глубине 0,7 м в грунте средней влажности с расчетной теплопроводностью 1,8 Вт/(м·°С). За расчетную температуру окружающего воздуха принята средняя

температура отопительного периода. Толщины изоляции подающего и обратного трубопроводов приняты одинаковыми. При большей глубине заложения канала при толщине изоляции, указанной в таблице 4.3.6, тепловой поток с поверхности изоляции подающего и обратного трубопроводов уменьшается, что обеспечивает дополнительную экономию энергоресурсов.

При изменении условий прокладки, характеристик используемых материалов и расчетных параметров требуемая толщина и тепловые потери трубопроводов определяются расчетом по приведенным выше формулам.

При расчете толщины тепловой изоляции из минераловатных изделий, отвечающей нормам плотности теплового потока, для трубопроводов тепловых сетей двухтрубной канальной прокладки принят коэффициент  $K_n = 1,2$ , учитывающий дополнительные тепловые потери через опоры и арматуру трубопроводов.

Размеры каналов марки МКЛ, принятые при расчете толщин тепловой изоляции по нормам плотности теплового потока, приведены в табл. 4.3.7.

**Размеры каналов марки МКЛ, принятые при расчете толщин тепловой изоляции по нормам плотности теплового потока**

Таблица 4.3.7

Диаметр условного прохода трубопровода, мм	Внутренние размеры канала, м	
	высота	ширина
50–100	0,555	0,97
125–200	0,705	1,32
250–400	0,905	1,92
500–600	1,105	2,41
700–800	1,38	2,77
900–1000	1,58	3,19
1000–1200	1,785	3,60
1200–1400	2,08	4,16

## 4.4. Монтаж конструкций промышленной тепловой изоляции

### 4.4.1. Организация строительной площадки

Монтаж тепловой изоляции выполняется в соответствии с проектом производства работ и рабочей документацией (рабочим проектом) тепловой изоляции при соблюдении требований нормативно-технической документации, регламентирующей правила производства и приемки работ.

Рабочая документация по тепловой изоляции в соответствии с ГОСТ 21.405 включает:

— основной комплект рабочих чертежей теплоизоляционных конструкций;

- техномонтажную ведомость;
- спецификацию оборудования.

Для сложных теплоизоляционных конструкций в составе рабочих документации дополнительно разрабатываются чертежи изделий и деталей, входящих в состав теплоизоляционной конструкции или привариваемых к изолируемой поверхности.

Порядок разработки, состав и содержание проекта производства работ регламентируются ОСТ 36-133-86.

К началу теплоизоляционных работ на строительной площадке должны быть размещены инвентарные здания и сооружения для приобъектного хранения материалов, изделий и конструкций, инвентарные административные и бытовые здания для инженерных служб и рабочих, предусмотрены помещения для сушки мокрой одежды, душевые, туалет, комната отдыха. Должны быть организованы мастерская и помещения для инструмента и механизмов [45, 68].

Потребность в грузоподъемных механизмах, производственном оборудовании, приспособлениях, инструменте и транспортных средствах должна определяться при разработке проекта производства работ исходя из объема, технологии и сроков производства теплоизоляционных работ [72].

Организационно-техническая подготовка теплоизоляционных работ предусматривает выполнение следующих мероприятий:

- монтаж, наладку и испытание грузоподъемных механизмов;
- организацию рабочих мест, устройство приспособлений по технике безопасности и охране труда;
- комплектацию монтажных бригад средствами малой механики и инструментом;
- организацию мест проезда и прохода к рабочим местам производства работ;
- обеспечение рабочих мест электроэнергией;
- приемку оборудования и трубопроводов под монтаж тепловой изоляции;
- разработку оперативных планов работ.

Приемка объектов под изоляцию осуществляется при условии их полной готовности к производству теплоизоляционных работ.

Готовность объекта под изоляцию определяется законченностью строительного-монтажных работ в пределах участков, обеспечива-

ющих максимальный фронт работ, и очисткой вблизи объектов от строительного мусора.

Оборудование и трубопроводы должны быть установлены в проектное положение, а работающие под давлением — опрессованы с оформлением соответствующего акта.

Работы по изоляции смонтированного оборудования и трубопроводов следует производить после полного окончания монтажа и испытания соответствующего монтажного блока. На оборудовании, аппаратах и резервуарах должны быть установлены детали крепления по проекту. На вертикальных участках трубопроводов и вертикальном оборудовании должны быть устроены разгрузочные пояса. На горизонтальных трубопроводах должны быть установлены опорные кольца, если это предусмотрено проектом.

Разрешение на производство теплоизоляционных работ должно оформляться актом приемки, подписанным представителями заказчика и монтажной организации, выполняющей теплоизоляционные работы (подрядчика или субподрядчика).

Материалы, изделия, входящие в состав теплоизоляционных конструкций и предусмотренные в проекте, при необходимости могут быть заменены на другие, подходящие по техническим характеристикам и не ухудшающие теплотехнические и механические показатели конструкции в целом, при согласии организации, разработавшей проект, и заказчика.

Хранение и транспортирование материалов изделий и конструкций должны производиться в условиях, исключающих их увлажнение от атмосферных осадков и порчу.

Работы должны выполняться в соответствии с требованиями СНиП по технике безопасности при производстве теплоизоляционных работ.

Изолируемые поверхности должны быть очищены от строительного мусора и пыли до начала монтажа теплоизоляционных конструкций. Работы по антикоррозионной защите проводятся до начала теплоизоляционных работ.

Приварку штырей для крепления теплоизоляционного слоя и других предусмотренных проектом опорных и крепежных элементов к изолируемой поверхности, установку опорных и разгружающих устройств следует осуществлять до начала теплоизоляционных работ.

Изоляцию вертикального оборудования (как правило, колонн, емкостей и т. п.) и магистральных трубопроводов рекомендуется выполнять до установки их в проектное положение. До начала изоляции оборудование и трубопроводы должны быть установлены монтирующей организацией на временные опоры высотой не менее 0,5 м.

#### 4.4.2. Монтаж теплоизоляционных конструкций оборудования и трубопроводов

Монтаж конструкций теплоизоляционных полносборных (КТП) или комплектных (КТК) на горизонтальных участках трубопроводов начинают от фланцевого соединения (патрубка аппарата, арматуры) с торцовым нахлестом защитно-покровного элемента конструкции на смежную конструкцию в направлении уклона.

Первая КТП (КТК) устанавливается от фланцевого соединения на расстоянии, обеспечивающем беспрепятственное разъединение фланцевого соединения (длина соединительного болта).

Теплоизоляционные слои смежных конструкций должны плотно прилегать друг к другу, обеспечивая непрерывность теплоизоляционного слоя.

Кромки продольного нахлеста защитно-покровного элемента КТП (КТК) в смежных конструкциях тепловой изоляции трубопроводов должны быть смещены друг относительно друга в шахматном порядке на расстояние не более 30—50 мм. Продольный нахлест конструкции должен располагаться не выше уровня горизонтальной оси трубопровода.

Торцовая КТП (КТК) у фланцевого соединения трубопровода защищается плоскими, составными, гофрированными или разрезными диафрагмами. Если фланцевое соединение не изолируется, торцы конструкций оформляются «под конус».

Монтаж теплоизоляционного слоя конструкции, собираемой поэлементно, на горизонтальных участках трубопроводов и аппаратов начинают от фланцевого соединения (патрубка аппарата, арматуры) со сдвигом на расстояние, обеспечивающее беспрепятственный разъем фланцевого соединения.

Теплоизоляционный слой из волокнистых материалов устанавливается с уплотнением, указанным в проекте.

Крепление теплоизоляционного слоя однослойной теплоизоляционной конструкции на трубопроводах осуществляют (если проектом не предусмотрено иначе):

— при изоляции цилиндрами — бандажами из ленты упаковочной черной 0,7 × 20 мм не менее чем по две штуки на изделие. Допускается замена бандажей на кольца из проволоки диаметром 2 мм;

— при изоляции горизонтальных участков трубопроводов и цилиндрических аппаратов наружным диаметром до 473 мм включительно минераловатными и стекловолокнистыми плитами или матами — бандажами из ленты упаковочной черной 0,7 × 20 мм с интервалом 500 мм при ширине изделий 1000 мм. Между бандажами устанавливаются подвески из проволоки диаметром 1,2 мм с интервалом 500 мм между каждой подвеской. (Подвеска — элемент

крепления из проволоки, опирающийся на трубопровод, аппарат или другую жесткую опору. Теплоизоляционный материал прокладывают проволокой, и концы проволоки скручивают, располагая на верхней образующей трубопровода или аппарата. Подвески предназначены для предотвращения провисания теплоизоляционного слоя в процессе эксплуатации.);

— при изоляции плитами или безобкладочными матами под подвески устанавливаются подкладки из рубероида, стеклопластика или другого упругого материала для предотвращения повреждения теплоизоляционного изделия при затяжке проволочных колец или в процессе эксплуатации. Допускается замена бандажей на кольца из проволоки диаметром 2 мм. Материал колец и подвесок — см. в разделе «Крепежные материалы и изделия»;

— при изоляции трубопроводов и горизонтальных частей цилиндрических аппаратов наружным диаметром 530 мм и более волокнистыми (минераловатными, стекловолокнистыми) матами или плитами полужесткими (для минераловатных изделий — марки 75 или 125) — с помощью проволочного каркаса, заранее монтируемого на трубопроводе.

Каркас представляет собой следующее: кольца из проволоки диаметром 3 мм устанавливают с интервалом 500 мм по длине трубопровода (аппарата), к этим кольцам прикрепляются проволочные стяжки (отрезки проволоки длиной примерно 600 мм) из проволоки диаметром 1,2 мм. При изоляции в один слой стяжки устанавливаются пучком из четырех штук, шаг установки пучка стяжек по дуге (окружности кольца из проволоки диаметром 3 мм) не более 500 мм.

Теплоизоляционные маты или плиты притягиваются стяжками к поверхности трубопровода (аппарата). Далее теплоизоляционный слой крепится бандажами из ленты 0,7 × 20 мм с шагом 500 мм и подвесками из проволоки диаметром 1,2 мм. Бандажи могут быть заменены проволочными кольцами.

При изоляции жесткими формованными изделиями (скорлупами или сегментами известково-кремнеземистыми, перлитцементными, а также изделиями из фенольно-резольного пенопласта ФРП-1) крепление теплоизоляционного слоя осуществляется бандажами. Следует устанавливать по два бандаж на изделие.

Жесткие формованные изделия, как правило, следует устанавливать на мастике со смещением поперечных швов на длину, равную половине изделия. Изделия устанавливают на тонком слое мастики с заполнением продольных и поперечных швов. При температуре изолируемой поверхности до 500 °С применяют совелитовую мастику, при более высоких температурах — асбозуритовую с наполнителем из крошки изделий, применяемых в качестве основного теплоизоляционного слоя.

Укладка насухо производится в исключительных случаях с обязательной подгонкой швов.

Крепление теплоизоляционных слоев многослойной конструкции осуществляют (если проектом не предусмотрено иначе):

— при изоляции горизонтальных участков трубопроводов (аппаратов) наружным диаметром до 473 мм включительно минераловатными и стекловолокнистыми плитами или матами в два и более слоев — первый слой крепится кольцами из проволоки и подвесками, устанавливаемыми между кольцами. Наружный слой теплоизоляционных изделий устанавливают с перекрытием швов первого слоя. Крепление второго слоя осуществляется подвесками, которые закрепляются на подвесках первого слоя бандажными лентами из упаковочной черной 0,7 × 20 мм. При применении безобкладочных изделий (маты, плиты) под подвески устанавливаются подкладки из листового материала. Допускается замена бандажей на кольца из проволоки диаметром 2 мм;

— при изоляции трубопроводов (аппаратов) наружным диаметром 530 мм и более волокнистыми (минераловатными, стекловолокнистыми) матами или плитами полужесткими (для минераловатных изделий — марки 75 или 125) устраивается проволочный каркас. Первый теплоизоляционный слой, прилегающий к трубопроводу, крепится проволочными кольцами с интервалом 500 мм и двумя стяжками; наружный слой, устанавливаемый с перекрытием швов первого слоя, крепится бандажными лентами 0,7 × 20 мм с шагом 500 мм и четырьмя стяжками, перевязываемыми крестнакрест. Допускается замена бандажей на проволочные кольца.

Изоляцию жесткими формованными изделиями в два слоя выполнить сложно, поэтому в большинстве случаев при необходимости в качестве наружного слоя предусматриваются волокнистые материалы.

При этом:

— при наружном диаметре изоляции до 530 мм включительно крепление первого теплоизоляционного слоя из жесткоформованных изделий осуществляется проволочными кольцами или бандажными лентами; наружный слой из волокнистого материала, устанавливаемого с перекрытием швов первого слоя, крепится бандажными лентами и расположенными между ними подвесками;

— при наружном диаметре первого теплоизоляционного слоя более 530 мм крепление первого теплоизоляционного слоя из жесткоформованных изделий осуществляется бандажными лентами или проволочными кольцами; наружный слой из волокнистого теплоизоляционного материала закрепляется с помощью проволочного каркаса из колец, стяжек и бандажей.

При изоляции вертикальных участков трубопроводов диаметром до 273 мм включительно для предотвращения сползания теплоизоляционного слоя следует устанавливать струны из проволоки, которые верхним концом должны быть закреплены на разгружающих устройствах для теплоизоляционных конструкций. Струны зацепляются за проволочные кольца, фиксируя их в требуемом положении. Следует устанавливать две струны по вертикали с противоположных сторон теплоизоляционного слоя.

При изоляции вертикальных участков трубопроводов (аппаратов) диаметром более 273 мм крепление теплоизоляционного слоя осуществляется с помощью каркаса. Дополнительно для фиксации бандажей (или колец) следует применять проволочные струны с шагом 500 мм по окружности.

На горизонтальных трубопроводах укладку теплоизоляционных изделий следует производить в сторону, противоположную уклону.

На вертикальных участках трубопроводов (аппаратов) должны быть установлены опорные конструкции, разгружающие устройства, с шагом через 3—4 м по длине трубопровода (аппарата).

#### 4.4.3. Контроль качества теплоизоляционных работ

**Контроль качества теплоизоляционных материалов.** Теплоизоляционные материалы, применяемые в конструкциях тепловой изоляции, должны иметь паспорт, сертификат качества и соответствия. При возникновении сомнений в соответствии качества поступивших теплоизоляционных материалов паспорту или сертификату необходимо выборочно осуществить проверку их по ГОСТ 17177 на плотность (чаще всего), сжимаемость или влажность. В особых случаях образцы материалов могут быть переданы в аккредитованные лаборатории для подтверждения их фактической теплопроводности.

Наличие антикоррозионного покрытия на крепежных изделиях, применяемых для крепления элементов теплоизоляционной конструкции на изолируемом объекте, проверяется визуально.

**Операционный и приемочный контроль исполнения тепловой изоляции.** Контроль смонтированной тепловой изоляции рекомендуется осуществлять по рекомендациям табл. 4.4.1.

Контролю подлежат:

— соответствие смонтированной тепловой изоляции проекту и нормативным документам по использованным материалам и конструктивному оформлению (толщину измеряют толщиномером);

— ровность наружной поверхности плоских граней или объектов с малой кривизной поверхности (контролируется трехметровой рейкой);

Рекомендуемая схема операционного контроля качества теплоизоляционных работ

Таблица 4.4.1

Наименование объекта	Монтажная площадка															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Чистота поверхности объекта	Сплошность теплоизоляционного слоя	Крепление теплоизоляционного слоя	Положение нахлеста в защитных покрытиях	Крепление конструкции	Толщина теплоизоляционного слоя в конструкции	Отсутствие бухтения конструкции	Плотность заполнения пенопластом или засыпкой	Воздушный зазор между поверхностью объекта и спутником	Температурные швы	Антикоррозионная защита	Пароизоляционный слой	Герметизация локальных мест	Ровность мастичного слоя или штукатурного слоя	Окраска покровного слоя	Внешний вид
	Диаметр трубопроводов, мм															
	Теплоизоляционный слой из волокнистых или жестких формованных изделий															
От 10 до 76	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Св. 76 до 325	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
Св. 325	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
	Арматура трубопроводов с покрытием из тонколистового металла															
От 10 до 325	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+
Св. 325	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+
	Теплоизоляционный слой из заливаемого пенопласта и мастичная изоляция															
До Ду 350 вкл.	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Фитинги, арматура	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+

Продолжение табл. 4.4.1

Наименование объекта	Монтажная площадка															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Чистота поверхности объекта	Сплошность теплоизоляционного слоя	Крепление теплоизоляционного слоя	Положение нахлеста в защитных покрытиях	Крепление конструкции	Толщина теплоизоляционного слоя в конструкции	Отсутствие бухтения конструкции	Плотность заполнения пенопластом или засыпкой	Воздушный зазор между поверхностью объекта и спутником	Температурные швы	Антикоррозионная защита	Пароизоляционный слой	Герметизация локальных мест	Ровность мастичного слоя или штукатурного слоя	Окраска покровного слоя	Внешний вид
	Отводы трубопроводов и фитинги с покрытием из тонколистового металла															
Штампованные	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+
Гофрированные	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+
Сварные	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+
Поэлементные	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+
	Пластмассовые отводы															
-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	Емкости, аппараты, оборудование															
	Резервуары вертикальные с изоляцией конструкциями:															
панельными	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+
поэлементно	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+

Наименование объекта	Монтажная площадка															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Горизонтальные	Чистота поверхности объекта	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Плотность теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сферические	Плотность теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Крепление теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Менее 3	Крепление теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Положение нахлеста в защитных покрытиях	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 и более	Крепление теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Положение нахлеста в защитных покрытиях	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Менее 1,6	Крепление теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Положение нахлеста в защитных покрытиях	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1,6 и более	Крепление теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Положение нахлеста в защитных покрытиях	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Резервуары	Чистота поверхности объекта	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Плотность теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Высота аппаратов колонного типа, м	Чистота поверхности объекта	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Плотность теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Диаметр технологического оборудования, м	Чистота поверхности объекта	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Плотность теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Внешний вид	Чистота поверхности объекта	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Плотность теплоизоляционного слоя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

- ровность поверхности теплоизоляционной конструкции трубопровода (контролируется рейкой длиной не менее двух метров);
- Примечание.* Способы контроля к таблице 4.4.1:
- позиции 1—5, 10—13, 15 и 16 проверяются визуально;
  - позиция 6 — производится замером толщины теплоизоляционного слоя (слоев) со свободной от изоляции стороны во время ее монтажа;
  - позиция 7 — проверяется нажатием (плоскость) или подпиранием снизу (трубопроводы) вручную;
  - позиция 8 — проверяется на слух постукиванием деревянным молотком;
  - позиция 9 — проверяется после установки теплоизоляционного слоя до монтажа защитно-покровного слоя визуально с торцов изоляции;
  - позиция 14 — проверяется не менее чем двухметровой линейкой;
  - выполнение антикоррозионных мероприятий (проверяется визуально);
  - сплошность теплоизоляционного слоя (проверяется постукиванием деревянным молотком массой 0,8 кг);
  - правильность выполнения нахлестов (отсутствие встречных нахлестов против уклона трубопроводов — проверяется визуально);
  - наличие окраски защитного покрытия в соответствии с целевым назначением объекта (проверяется визуально);
  - дизайн конструкции (проверяется визуально).
- Проверяется наличие журнала на выполнение скрытых работ.
- Подлежит контролю соответствие температуры поверхности изоляции санитарным нормам (требованиям проекта).
- К числу дефектов относят:
- применение материалов, не соответствующих стандартам и техническим условиям;
  - несоответствие плотности и толщины теплоизоляционного слоя проектным данным. Допуск по толщине для теплоизоляционного слоя из волокнистых уплотняющихся материалов — не более  $\pm 3$  мм. Допуск по толщине теплоизоляционной конструкции с теплоизоляционным слоем из жесткоформованных изделий должен соответствовать допуску на изделия по техническим условиям и государственным стандартам. При изоляции поверхностей с целью предотвращения конденсации влаги на поверхности изоляции объектов, расположенных в помещении, допуск по толщине изоляции только в сторону увеличения («+»);
  - отступления от проектных данных в части материалов, конструкций и способа монтажа изоляции, не согласованные с проектной организацией и заказчиком;

- механические повреждения изоляции;
- некачественная отделка концевых участков изоляции у фланцевых соединений, арматуры, опор и др.;
- плохая затяжка металлической сетки и каркасов;
- неплотное прилегание теплоизоляционного слоя или полносборной конструкции к поверхности изолированного объекта;
- неплотное сопряжение смежных элементов защитного покрытия;
- несоблюдение правил сопряжения продольных и поперечных швов защитного покрытия, допускающее затекание воды в теплоизоляционный слой;
- отсутствие тепловой изоляции в местах расположения опор;
- наличие отступлений в расположении крепежных деталей, рекомендованном проектом;
- отсутствие герметичности пароизоляционного слоя.

Окончательная дефектная ведомость, куда заносят все фактические показатели смонтированной изоляции, установленные при приемке, составляется после сопоставления показателей смонтированной изоляционной конструкции с проектными данными и учета изменений, внесенных в процессе монтажа (если таковые имеются и согласованы с проектной организацией и заказчиком).

Окончательную приемку с составлением акта сдачи-приемки производят после устранения замеченных недостатков по дефектной ведомости. При производстве теплоизоляционных работ домонтажным способом окончательная приемка тепловой изоляции осуществляется после установки объекта в проектное положение и по завершении изоляционных работ монтажных стыков и в местах установки строповочных скоб.

#### 4.4.4. Техника безопасности и охрана труда при производстве теплоизоляционных работ

Организация и технология выполнения теплоизоляционных работ должны обеспечивать безопасность работающих на всех стадиях производственного процесса. Требования по предупреждению воздействия опасных и вредных производственных факторов в процессе подготовки и выполнения тепловой изоляции оборудования и трубопроводов при новом строительстве, расширении, реконструкции и техническом перевооружении предприятий, зданий и сооружений определяются СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве» [13, 24] с учетом требований правил пожарной безопасности при производстве строительно-монтажных работ, а также санитарных норм и правил. При выполнении теплоизоляционных работ учитывают возможность возникновения следующих

опасных и вредных для исполнителей работ производственных факторов:

- запыленность и загазованность воздуха;
- высокий уровень шума и вибрации на рабочем месте;
- недостаточная освещенность;
- отклонения от оптимальных норм температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне;
- недостаточная электробезопасность применяемых машин и оборудования.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны и параметры микроклимата не должны превышать норм, установленных ГОСТ 12.1.005. Гигиенические характеристики вредных веществ в воздухе рабочей зоны при производстве теплоизоляционных работ приведены в табл. 4.4.2.

**Гигиенические характеристики вредных веществ в воздухе рабочей зоны при производстве теплоизоляционных работ по ГОСТ 12.1.005**

Таблица 4.4.2

• Наименование технологических процессов или условий выполнения работ	Наименование веществ	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Изоляция с применением изделий на основе стеклянного или минерального волокна	Стеклоанное и минеральное волокно	4,00	4
		0,30	2
Изоляция с применением штукатурных растворов	Асбест Асбестоцемент Цемент	2,00	4
		6,00	4
		6,00	4
Напыляемая изоляция	Алюмохромосфосфат Каустический магнезит Нефелиновый антипирен	1,00	2
		10,00	4
		6,00	4
Изоляция с применением заливочного пенополиуретана	Диметилэтанолламин Метилен хлористый Полиационат (толуизендеизоационат)	5,00	3
		50,00	3
		0,05	1
Изоляция, выполняемая на территории действующего предприятия	Окись пропиленна Окись углерода Сероводород Сероводород в смеси с углеводородами С-С Сернистый ангидрид Углероды: алифатические предельные С <sub>1</sub> -С <sub>10</sub> бензол толуол ксилол Метилен хлористый	1,00	2
		20,0	4
		10,00	2
		3,00	3
		10,00	3
		300,00	4
		5,00	3
		50,00	3
		50,00	3
		80,00	4



Допустимые значения уровней шума и вибрации, создаваемых машинами и механизмами на рабочих местах, — соответственно по ГОСТ 12.1.003 и ГОСТ 12.1.012.

Освещенность на рабочих местах должна быть не менее 30 лк.

При выполнении теплоизоляционных работ в опасных зонах порядок допуска к производству работ, а также границы опасных зон, в пределах которых действуют опасные факторы, должны соответствовать СНиП III-4-80.

В технологических процессах при изготовлении теплоизоляционных изделий, конструкций и выполнении теплоизоляционных работ следует применять необходимые средства механизации.

Работы на всех стадиях технологического процесса должны выполняться с применением индивидуальных и коллективных средств защиты по ГОСТ 12.4.011. Повышенные требования к безопасности выполнения теплоизоляционных работ предъявляются при применении теплоизоляции из пенополиуретана с учетом токсичности и пожароопасности входящих в его состав компонентов. Область применения изоляции из пенополиуретана (заливочного и напыляемого) по пожарной опасности должна соответствовать требованиям СНиП 2.04.14-88.

Основным документом для подготовки, организации и выполнения теплоизоляционных работ с учетом обеспечения безопасности труда является проект производства работ (ППР) или технологическая карта (ТК). Состав и содержание основных решений ППР и ТК по обеспечению безопасности труда должны отвечать следующим требованиям. Организационно-технические решения по обеспечению безопасности труда должны разрабатываться в составе ППР и ТК с учетом требований СНиП 12-04-2002.

В ППР и ТК должны быть предусмотрены требования по снижению объемов работ и трудоемкости их выполнения в условиях действия опасных и вредных производственных факторов за счет применения:

демонтажной изоляции оборудования и трубопроводов;

блочного монтажа оборудования и трубопроводов с изоляцией блоков до их установки в проектное положение;

индустриальных конструкций изоляции (полнооборных и комплектных);

механизмов, инструмента, приспособлений, технологической оснастки (средств подмащивания, грузозахватных устройств, средств индивидуальной и коллективной защиты).

Порядок разработки и испытания технологической оснастки, средств индивидуальной защиты, ручного инструмента и механизмов определяются соответствующими нормативными документами,

а требования к их эксплуатации — эксплуатационными документами предприятий-изготовителей.

Все партии поступающих исходных материалов и готовых изделий, в том числе импортных, должны иметь паспорт. При этом должно быть проверено наличие в паспорте сведений о содержании вредных веществ, параметров, характеризующих пожаровзрывоопасность, сроках и условиях хранения, методе применения, способе безопасного производства теплоизоляционных работ, рекомендаций по средствам коллективной и индивидуальной защиты.

Оборудование, применяемое для теплоизоляционных работ, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003.

Выполнение теплоизоляционных работ должно быть обеспечено необходимыми и исправными средствами механизации, инструментами, инвентарными средствами подмащивания, а также приспособлениями по обеспечению безопасности работ по ГОСТ 12.2.012 и защитными инвентарными ограждениями по ГОСТ 12.4.059.

Электробезопасность применяемых машин и оборудования должна соответствовать требованиям соответствующих стандартов (ГОСТ 12.1.013, ГОСТ 12.1.018 и ГОСТ 12.1.019).

При хранении теплоизоляционных материалов и конструкций должны быть выполнены требования, обеспечивающие безопасность работающих и сохранность хранимых и транспортируемых материалов.

Требования безопасности к погрузочно-разгрузочным работам должны соответствовать ГОСТ 12.3.009 и правилам устройства и безопасной эксплуатации применяемых грузоподъемных механизмов.

При выполнении изоляционных работ рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты. Рабочие, получившие средства индивидуальной защиты, должны быть проинструктированы о порядке применения и ухода за ними. На строительной площадке должны быть предусмотрены средства для оказания первой медицинской помощи и условия соблюдения личной гигиены.

Контроль выполнения требований по безопасности труда осуществляется инженерно-техническими работниками и службами техники безопасности строительных организаций, а по вредным производственным факторам — санитарно-эпидемиологическими станциями.

Проверка состояния средств индивидуальной защиты должна производиться в соответствии с требованиями, установленными нормативно-технической документацией на средства индивидуальной защиты.

## 4.5. Конструкции тепловой изоляции в строительстве

Новое строительство, реконструкция и капитальный ремонт зданий в Российской Федерации осуществляются в соответствии с новыми, повышенными требованиями к теплозащите ограждающих конструкций, определяемыми Изменением № 3 к СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника» [41, 42, 43, 77, 83].

Введение новых, более жестких нормативов по энергосбережению вызвало необходимость радикального пересмотра принципов проектирования и строительства зданий, так как применение традиционных для России строительных материалов и технических решений не обеспечивает требуемое по современным нормам термическое сопротивление наружных ограждающих конструкций зданий.

В новом строительстве все большее распространение получают трехслойные конструкции стен, в которых предусмотрено применение эффективных утеплителей в качестве среднего слоя между несущей или самонесущей стеной и защитно-декоративной облицовкой.

Рациональным и эффективным способом повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий является дополнительное наружное утепление их ограждающих конструкций.

При новом строительстве используется как наружное утепление, так и применение эффективных утеплителей в качестве среднего слоя в трехслойных ограждающих конструкциях из кирпича и бетона.

Существующие варианты утепления зданий отличаются как конструктивными решениями, так и используемыми в конструкциях материалами.

Необходимый уровень теплозащиты наружных ограждений зданий определяется требованиями СНиП II-3-79\* в зависимости от продолжительности отопительного периода (ГОП) для каждого региона.

В современной практике наибольшее применение получили следующие типы конструктивных решений по утеплению зданий:

- трехслойные стены с утеплителем в качестве среднего слоя и наружной облицовкой из кирпича. Различают конструкции с вентилируемым зазором и без него;
- наружное утепление зданий со штукатурным покрытием;
- наружное утепление стен с вентилируемым зазором и облегченной защитно-декоративной облицовкой изделиями типа «сайдинг», «ранила», «этернит» и др.

Физико-технические свойства используемых теплоизоляционных материалов оказывают определяющее влияние на теплотехническую эффективность и эксплуатационную надежность конструкций, трудоемкость монтажа, возможность ремонта в процессе эксплуатации и в значительной степени определяют сравнительную технико-экономическую эффективность различных вариантов утепления зданий [85, 86].

### 4.5.1. Технические требования к эффективным утеплителям для ограждающих конструкций зданий

Теплоизоляционные материалы в конструкциях утепления зданий должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по СНиП 2.01.02-85, иметь гигиенические сертификаты, не выделять токсичные вещества в процессе эксплуатации и при горении.

На долговечность и стабильность теплофизических и физико-механических свойств теплоизоляционных материалов в конструкциях утепления зданий влияют многие эксплуатационные факторы, включая:

- знакопеременный температурно-влажностный режим теплоизоляционных конструкций;
- возможность капиллярного и диффузионного увлажнения теплоизоляционного материала в конструкции;
- воздействие ветровых нагрузок;
- механические нагрузки от собственного веса в конструкциях стен и нагрузки при перемещении людей в конструкциях крыш и перекрытий.

С учетом указанных факторов теплоизоляционные материалы для утепления зданий должны отвечать следующим основным требованиям:

- теплоизоляционный материал должен обеспечивать требуемое сопротивление теплопередаче при возможно минимальной толщине конструкции, что достигается применением материалов с расчетным коэффициентом теплопроводности 0,04—0,06 Вт/(м·К);
- паропроницаемость материала должна иметь значения, исключающие возможность накопления влаги в конструкции в процессе ее эксплуатации;
- плотность теплоизоляционных материалов для утепления зданий ограничивается допустимыми нагрузками на несущие конструкции, и допустимыми значениями являются 200—250 кг/м<sup>3</sup>;
- предел прочности при 10 %-ной деформации в конструкциях утепления крыш и перекрытий не менее 20 кПа;
- морозостойкость;
- гидрофобность и водостойкость;

- биостойкость и отсутствие токсичных выделений при эксплуатации.

Для теплоизоляционных материалов из стеклянного и минерального волокна, применяемых в наружных ограждающих конструкциях зданий, особенно важным является показатель водостойкости. Учитывая возможность периодического увлажнения теплоизоляционных материалов в конструкции, показатель водостойкости в значительной степени определяет их долговечность [33, 86].

Водостойкость стеклянных волокон существенно зависит от химического состава и диаметра волокна. Увеличение содержания щелочных окислов и уменьшение диаметра волокна приводит к снижению водостойкости материала.

Учитывая относительно невысокую водостойкость стеклянных волокон щелочного состава, при разработке конструкций с применением теплоизоляционных материалов из стекловолокна следует предусматривать технические решения, ограничивающие деструктивное воздействие влаги на материал в процессе эксплуатации. К таким решениям относятся гидрофобизация материалов в процессе производства и применение конструктивных решений, предотвращающих или ограничивающих возможность конденсации влаги в конструкции.

За счет гидрофобизации волокнистых материалов снижается их смачиваемость, т. е. уменьшается поверхность взаимодействия волокон с капельной влагой, что приводит к повышению водостойкости и, соответственно, долговечности материала.

Предотвращение конденсации паров воды в конструкции достигается конструктивными решениями, а именно соответствующим расположением слоев материалов с различной паропроницаемостью и введением при необходимости дополнительных паровых барьеров, предотвращающих или ограничивающих конденсацию.

Для обеспечения долговременной стабильности свойств теплоизоляционные материалы из стекловолокна и минеральной ваты, применяемые в наружных ограждающих конструкциях зданий, гидрофобизируются в процессе производства.

Теплоизоляционные материалы в конструкциях утепления зданий должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по СНиП 21-01-97, иметь гигиенические сертификаты, не выделять токсичные вещества в процессе эксплуатации и при горении.

В практике строительства применяется широкая номенклатура теплоизоляционных изделий из стекловолокна, минеральной ваты, пенопластов, имеющих различное назначение и отличающихся техническими характеристиками.

Минераловатные изделия для применения в строительных конструкциях представлены на отечественном рынке продукцией пред-

приятий АО «Термостепс», АКСИ (г. Челябинск), АО «Тизол», Назаровского ЗТИ и завода «Комат» (плиты теплоизоляционные на синтетическом связующем по ГОСТ 9573–96 и ТУ 5762-010-04001485–96, гофрированные плиты по ТУ 5762-001-05299710–94, плиты повышенной жесткости по ГОСТ 22950–95), теплоизоляционными изделиями ЗАО «Минеральная Вата»; импортными материалами фирм «Роквул», «Партек», «Изомат» и др.).

Наиболее крупными производителями теплоизоляционных изделий из стекловолокна на территории России являются ОАО «Флайдерер-Чудово» и ЗАО «Мостермостекло». Инофирмы представлены фирмой «ИзOVER».

Теплоизоляционный пенополистирол выпускается предприятиями: NESTE «ПеноПласт» (г. Санкт-Петербург), АО «Стройпластмасс» (Московская область), СП «ТИГИ-Кнауф» (Московская область). В г. Реж (Свердловская область) освоено производство экструдированного пенополистирола ЭППС по ТУ 2244-002-17953000–95, который может применяться для устройства инверсионных кровель.

Эффективным материалом для утепления покрытий зданий является пока еще мало применяемое в отечественном строительстве пеностекло «Фомглас», выпускаемое фирмой «Питтсбург Корнинг» («Pittsburgh Corning»).

Преимуществом минераловатных материалов в строительных конструкциях является их негорючесть.

Теплоизоляционные материалы из стекловолокна относятся к категории НГ или Г1 по ГОСТ 30244 в зависимости от их плотности и количества связующего. Теплоизоляционные изделия из стекловолокна имеют хорошие деформативные характеристики и отличаются виброустойчивостью.

Повышенная упругость позволяет транспортировать маты из стекловолокна в виде рулонов. В развернутом виде они возвращаются практически к исходной толщине.

Теплоизоляционные пенопласты относятся к горючим или труднгорючим материалам (группы Г1–Г4) по ГОСТ 30244, что ограничивает область их применения и требует принятия специальных технических решений, обеспечивающих пожаробезопасность зданий.

В табл. 4.5.1 приводится ориентировочная классификация по назначению представленных на отечественном рынке волокнистых теплоизоляционных материалов для использования в ограждающих конструкциях зданий, разработанная на основе анализа физико-технических свойств и эксплуатационных характеристик материалов с учетом рекомендаций производителей и специфики условий эксплуатации. Физико-технические характеристики указанных

**Классификация по назначению представленных  
на отечественном рынке волокнистых  
теплоизоляционных материалов для использования  
в ограждающих конструкциях зданий**

Таблица 4.5.1

Материал	Марка	Нормативный документ или фирма- производитель
<b>Материалы для конструкций с теплоизоляцией в качестве среднего слоя и с облицовкой кирпичом</b>		
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	П75 П125	ГОСТ 9573–96 ТУ 5762-010-04001485–96
Плиты из стеклянного волокна «URSA»	П-30, П-35, П-45, П-60, П-75, П-85	«Флайдерер-Чудово» ТУ 5763-002-00287697–97
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты	«Кавити Баттс»	ЗАО «Минеральная Вата» ТУ 5762-009-45757203–99
Плиты из минеральной ваты «Isomat»	«Нобасил LF», «Нобасил LFK-NGR» «Нобасил M»	Фирма «Isomat» (Словакия)
Изделия из стеклянного волокна «Isover»	Плиты RKL, RKL-A, OL-E, OL-A	ИзOVER-Альстрем (Финляндия)
<b>Материалы для конструкций наружной теплоизоляции стен с вентилируемым зазором</b>		
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	П125, П175	ГОСТ 9573–96 ТУ 5762-010-04001485–96
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты	«Венти Баттс»	ЗАО «Минеральная Вата» ТУ 5762-003-45757203–99
Изделия из минеральной ваты «Rockwool»	Плиты «Венти Баттс»	«Rockwool» (Дания)
Изделия из стеклянного волокна «URSA»	Маты М-25, плиты П20, П-30, П-35, П-45, П-60, П-75	«Флайдерер-Чудово» ТУ 5763-002-00287697–97
Изделия из стеклянного волокна «Isover»	Плиты RKL, RKL-A, OL-K	ИзOVER-Альстрем (Финляндия)
Изделия из минеральной ваты «Paroc»	Плиты TL, AKL, RAL-1, RAL-4	«Partec» (Финляндия)
<b>Материалы для наружного утепления стен со штукатурным покрытием</b>		
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	П175, П225	ГОСТ 9573–96, ТУ 5762-010-04001485–96
Плиты пенополистирольные	Марка 35–50	ГОСТ 15588–86
Изделия из стеклянного волокна «URSA»	Плиты П-85	«Флайдерер-Чудово» ТУ 5763-002-00287697–97

Материал	Марка	Нормативный документ или фирма- производитель
Плиты из минеральной ваты	«Фасад Баттс»	ЗАО «Минеральная Вата» ТУ 5762-002-45757203–99
Плиты из минеральной ваты «Rockwool»	«Фасад Баттс»	«Rockwool» (Дания)
Плиты из стеклянного волокна «Isover»	OL-K, OL-A, OL-E	«Isover» (Финляндия)
Плиты из минеральной ваты	Нобасил-ТЕ, Нобасил-TFL	«Isomat» (Словакия)
Изделия из минеральной ваты «Paroc»	Плиты RAL4	«Partec» (Финляндия)
<b>Материалы для конструкций утепления совмещенной крыши, чердачного перекрытия на проходном и полупроходном чердаке</b>		
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	П175, П225	ГОСТ 9573–96
	П175, П200	ТУ 5762-010-04001485–96
Плиты минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем	ППЖ-200	ГОСТ 22950–95
Плиты минераловатные гофрированной структуры	П175-ГС, П200-ГС	ТУ 5762-001-05299710–94
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты	«Руф Баттс»	ЗАО «Минеральная Вата» ТУ 5762-005-45757203–99
Плиты из минеральной ваты «Rockwool»	«Хардрок»	«Rockwool» (Дания)
Изделия из минеральной ваты «Paroc»	TKL	«Partec» (Финляндия)
Плиты из минеральной ваты	«Нобасил JPS»	«Isomat» (Словакия)
Плиты из стеклянного волокна «Isover»	OL-KA, OL-LA, OL-K	«Isover» (Финляндия)

материалов приводятся в соответствующих государственных стандартах, технических условиях или рекламных проспектах.

Предотвращение конденсации паров воды в конструкции достигается конструктивными решениями, а именно соответствующим расположением слоев материалов с различной паропропускной способностью и введением при необходимости дополнительных паровых барьеров, снижающих диффузионный поток влаги и предотвращающих или ограничивающих конденсацию.

При выборе марки утеплителя для конкретной конструкции следует учитывать, что гидрофобизированные материалы большей плотности характеризуются более высокой долговечностью (т. е. сроком эксплуатации без разрушения) при одновременно бо-

лее высокой стоимости, обусловленной повышенными затратами при производстве. Поэтому при проектировании руководствуются как ценовыми показателями материалов, так и расчетным сроком службы здания.

Значения теплотехнических характеристик строительных, в том числе теплоизоляционных, материалов в конструкциях под воздействием эксплуатационных факторов изменяются во времени и могут существенно отличаться от значений, получаемых при лабораторных испытаниях и указанных в технических условиях.

Поэтому при проектировании используют расчетные значения коэффициента теплопроводности материалов, учитывающие изменение этого показателя при увлажнении в конструкции в эксплуатационных условиях.

Значение расчетного коэффициента теплопроводности волокнистых теплоизоляционных материалов, включенных в Приложение 3 СНиП II-3-79\*, для условий эксплуатации А превышает его значение в сухом состоянии в 1,1—1,15 раза, а для условий эксплуатации Б — в 1,2—1,25 раза.

Для новых в российской практике теплоизоляционных материалов значение расчетных коэффициентов теплопроводности при расчетной массовой влажности определяется при сертификационных испытаниях методом стационарного теплового потока по ГОСТ 7076—99 «Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности».

Следует отметить, что использование этого метода для испытания влажных теплоизоляционных материалов является некорректным, так как при измерениях возникают значительные погрешности, обусловленные протеканием нестационарных процессов фазовых превращений и влагопереноса в испытываемых образцах.

Кроме того, для материалов плотностью менее 50 кг/м<sup>3</sup> различие между теплопроводностью в сухом и увлажненном состоянии при расчетном массовом отношении влаги в условиях эксплуатации А и Б — соответственно 2 и 5 % — часто не превышает погрешность измерений по ГОСТ 7076, составляющую 4 %, что также исключает возможность применения этого метода для влажных теплоизоляционных материалов.

В зарубежной практике значения этого показателя принимаются методом экспертной оценки для групп материалов, близких по структурным и физическим характеристикам. Так, например, в Германии для волокнистых теплоизоляционных материалов расчетное значение коэффициента теплопроводности принимается с учетом его увеличения на 2 % при увеличении влажности по массе на 1 %. Аналогичный подход, учитывающий условия примене-

ния, принят и в Дании, являющейся крупнейшим производителем минераловатных теплоизоляционных материалов.

Представляется целесообразным в отечественной практике при определении расчетных коэффициентов теплопроводности теплоизоляционных материалов ввести аналогичный подход, что исключит необходимость проведения большого количества ненужных испытаний и повысит достоверность рекомендуемых для использования при проектировании данных.

Эксплуатационные свойства волокнистых теплоизоляционных материалов зависят от состава используемого различными производителями исходного сырья и технологического оборудования и изменяются в достаточно широком диапазоне.

Сравнительные физико-технические характеристики некоторых видов волокнистых теплоизоляционных материалов, используемых в строительных конструкциях, приводятся в табл. 4.5.2.

Теплоизоляционные материалы в конструкциях утепления зданий должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по СНиП 2.01.02-85, иметь гигиенические сертификаты, не выделять токсичные вещества в процессе эксплуатации и при горении.

Горючесть теплоизоляционных изделий из минерального и стеклянного волокна определяется содержанием органического связующего. Минераловатные изделия на синтетическом связующем с содержанием органических веществ менее 4 % относятся к группе НГ (негорючих), а при большем содержании органических веществ — к группе Г1 (слабо горючих) или Г2 (умеренно горючих) при испытаниях по ГОСТ 30244.

Теплоизоляционные изделия из минерального и стеклянного волокна на синтетическом связующем относятся к группам материалов, не распространяющих пламя, с малой дымообразующей способностью и малоопасных по токсичности по СНиП 21-01-97.

Изделия из минерального и стеклянного волокна обладают хорошими звукопоглощающими и звукоизолирующими свойствами, что дает возможность их применения в конструкциях подвесных потолков, перекрытиях, полах и перегородках зданий различного назначения.

Долговечность теплоизоляционных материалов в строительных конструкциях, помимо свойств самих материалов, зависит от увлажнения теплоизоляционного материала в конструкции, воздействия ветровых нагрузок, механических нагрузок от собственного веса в конструкциях стен и нагрузок при перемещении людей в конструкциях крыш и перекрытий. Очевидно, что к общим влияющим факторам добавляются дополнительные, обусловленные спецификой работы материала в конструкции.

Технические характеристики некоторых волокнистых теплоизоляционных материалов

Таблица 4.5.2

Материал, ГОСТ, ТУ	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	Теплопроводность, Вт/(м·К), не более, при T = (298 ± 5) К	Сжимаемость, %, не более	Прочность на сжатие при 10 %-ной деформации, МПа, не менее	Содержание органических веществ, % по массе, не более	Группа горючести
<b>Изделия из минеральной ваты</b>						
Плиты теплоизоляционные повышенной жесткости на синтетическом связующем ГОСТ 22950-95 марка ППЖ-200 » ППЖ-ГС-175 » ППЖ-ГС-200	200 ± 25	0,052		0,1	10	Г2
	175 ± 15	0,051		0,045	7	Г2
	200	0,053		0,06	7	Г2
	75	0,047	20	-	3	НГ
Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем, теплоизоляционные ГОСТ 9573-96 марка 75 » 125 » 175 » 225	125	0,049	12	-	4	Г1
	175	0,052	4	-	5	Г1
	225	0,054	-	0,04	6	Г2
	176-200	0,049	-	0,03	6	Г1
Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем, теплоизоляционные ТУ 5762-001-05822515-001 марка П-200 » П-225	201-225	0,05	-	0,02	6	Г1

Продолжение табл. 4.5.2

Материал, ГОСТ, ТУ	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	Теплопроводность, Вт/(м·К), не более, при T = (298 ± 5) К	Сжимаемость, %, не более	Прочность на сжатие при 10 %-ной деформации, МПа, не менее	Содержание органических веществ, % по массе, не более	Группа горючести
Плиты повышенной жесткости на карбамидном связующем, теплоизоляционные ТУ 67-16-207-93 марка ППЖ-200 Плиты повышенной жесткости на синтетическом связующем, теплоизоляционные ТУ 5762-042-00290038-00 марка ППЖ-150 марка ППЖ-200 Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты «Венти Баттс» ТУ 5762-003-45757203-99 Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты «Фасад Баттс» ТУ 5762-002-45757203-99 Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты «Руф Баттс» ТУ 5762-005-45757203-99 марка Руф Баттс » Руф Баттс В » Руф Баттс Н	175-250	0,052	-	0,1	10	Г1
	150 ± 25	0,046		0,03	4	НГ
	200 ± 25	0,046		0,05	4,5	НГ
	св. 90 до 125	0,037	2	0,02	4,5	НГ
	св. 140 до 180	0,038		0,045	4,5	НГ
	св. 140 до 180	0,038		0,045	4,5	НГ
	св. 180	0,038		0,06	4,5	НГ
	св. 100 до 125	0,037		0,025	4,5	НГ

Материал, ГОСТ, ТУ	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	Теплопроводность, Вт/(м·К), не более, при T = (298 ± 5) К	Сжимаемость, %, не более	Прочность на сжатие при 10 %-ной деформации, МПа, не менее	Содержание органических веществ, % по массе, не более	Группа горючести	Изделия из стеклянного волокна				
							Г1	НГ	НГ	Г2	Г2
Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна «URSA» ТУ 5763-002-00287697-97	плиты – марка П-85, 75, 60, 45, 35 маты – марка М-25, 17, 15, 11	в зависи- мости от марки	0,035–0,036* 0,037–0,042* 0,038–0,044*	15–45* 50–70* 60–80*			Г1	НГ	НГ	Г2	Г2
Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного аолокна ГОСТ 10499-95	плиты – марка П-75, 60, 45 маты – марка М-45, 35, 25	в зависи- мости от марки	0,047 0,047	20–40* 40–60*			Г2			Г2	Г2

\* Коэффициент теплопроводности изделий «URSA» и сжимаемость материалов из стеклянного штапельного волокна различаются по маркам изделий.

В зависимости от назначения изделия из волокнистых теплоизоляционных материалов выпускаются гидрофобизированными (Г) и могут быть оклеены с одной стороны крафт-бумагой (Б), стеклохолстом (С) или фольгой (Ф). Так, например, фирма «Флайдерер-Чудово» для оклеивания теплоизоляционных матов и плит с фирменной маркой «URSA» использует:

– холст стекловолнистый по ТУ 5952-003-04001485–96 марки ХСК-90, производимый ОАО «Мостермостекло»;

– крафт-бумагу или фольгу с основой из крафт-бумаги производства фирмы «ROTHEL» (Германия).

Изделия из стекловолнистой марки «URSA» обладают хорошими звукопоглощающими и звукоизолирующими свойствами, что дает возможность их применения в конструкциях подвесных потолков, перекрытиях, полах и перегородках зданий различного назначения.

В наружных строительных ограждающих конструкциях допускается применение только гидрофобизированных теплоизоляционных изделий.

Реализация новой для России концепции строительства с использованием эффективных утеплителей должна осуществляться на основе детального анализа как свойств рекомендуемых к применению материалов, включая их долговечность и эксплуатационную надежность, так и применяемых конструктивных решений с учетом эксплуатационных особенностей конструкций, протекающих в них физических и химических процессов и требований экологической и пожарной безопасности.

#### 4.5.2. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий

Расчет теплосащитных и влажностных характеристик ограждающих конструкций зданий выполняется в соответствии с требованиями и по методикам, изложенным в СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника».

Значения теплотехнических характеристик строительных, в том числе теплоизоляционных, материалов в конструкциях под воздействием эксплуатационных факторов изменяются во времени и могут существенно отличаться от значений, получаемых при лабораторных испытаниях и указанных в технических условиях.

При проектировании используют расчетные значения коэффициента теплопроводности, теплоусвоения и паропроницаемости материалов ограждающих конструкций в условиях эксплуатации А и Б, приведенных в СНиП II-3-79\*.

Расчетные параметры окружающей среды для различных регионов принимаются по СНиП 2.01.01.- 99 «Строительная климатология и геофизика».



Расчетные параметры внутреннего воздуха принимаются по ГОСТ 12.1.005–88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» с учетом требований СНиП 2.08.01–89 «Жилые здания», СНиП 2.09.02.–85 «Производственные здания»; СНиП 2.09.04–87 «Административные и бытовые здания», СНиП 2.08.02–89 «Общественные здания и сооружения».

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций определяется исходя из необходимости соблюдения санитарно-гигиенических требований, условий комфортности и требований энергосбережения.

Сопротивление теплопередаче многослойных конструкций с последовательно расположенными однородными слоями определяется по формуле

$$R_0 = 1/\alpha_{в} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + 1/\alpha_{н},$$

где  $\alpha_{в}$  — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$R_1, R_2, \dots, R_n$  — термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$\alpha_{н}$  — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Термическое сопротивление отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R = \delta/\lambda,$$

где  $\delta$  — толщина слоя, м;

$\lambda$  — расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Расчетный коэффициент теплопроводности каждого слоя конструкции принимается по Приложению 3 СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника».

Наличие в конструкции теплопроводных включений (гибких и жестких связей, крепежных элементов, обрамлений балконов и дверей и т. п.) учитывается коэффициентом теплотехнической однородности  $r$ , который представляет собой отношение приведенного сопротивления теплопередаче к сопротивлению теплопередаче однородной конструкции (без теплопроводных включений).

Требуемое сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции определяется исходя из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции при расчете за годовой период эксплуатации и за период эксплуатации с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха [73].

Методика расчета основана на определении материального баланса влаги в конструкции за расчетный период времени с учетом

изменения температурно-влажностных параметров окружающей среды для различных климатических районов.

В связи с большим разнообразием конструктивных решений, свойств применяемых материалов и климатических условий для различных регионов страны расчет влажностного режима конструкции выполняется при проектировании конкретного объекта.

Учитывая достаточно большой объем необходимых вычислений для расчета возможности выпадения и количества выпадающего в конструкции конденсата при стационарных условиях теплопередачи и диффузии водяного пара, институтом «Теплопроект» разработана компьютерная программа.

Расчет выполняется по принятой в практике проектирования инженерной методике, позволяющей с достаточной степенью достоверности установить возможность выпадения и накопления конденсата в конструкции в процессе ее эксплуатации.

Исходными данными при расчете являются температура и относительная влажность воздуха снаружи и внутри здания, термическое сопротивление и сопротивление паропроницанию отдельных слоев и конструкции в целом.

Распределение температур по толщине конструкции рассчитывается по формулам стационарной теплопередачи. По термодинамическим таблицам определяются значения максимальной упругости водяного пара при расчетных температурах в конструкции.

Далее по заданным значениям влажности воздуха внутри и снаружи здания и сопротивлению паропроницанию отдельных слоев конструкции рассчитывается изменение парциального давления по толщине конструкции.

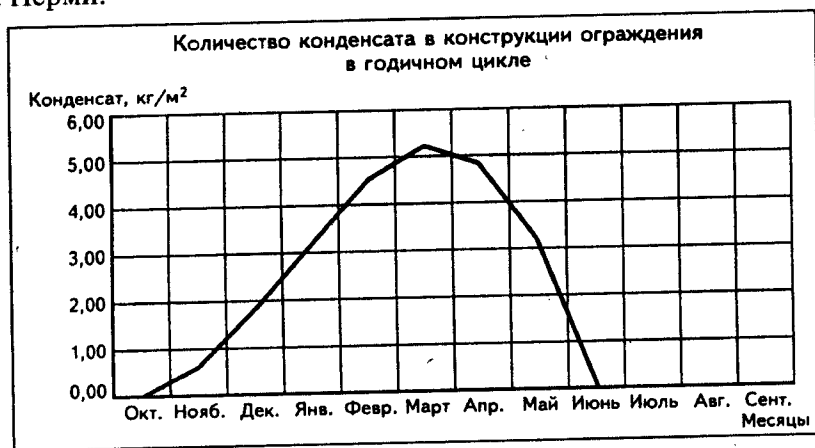
Если рассчитанное значение парциального давления пара в каком-либо сечении превышает значение максимальной упругости пара для этого сечения, то это свидетельствует о возможности выпадения конденсата.

Одновременно с учетом сорбционных характеристик использованных материалов рассчитывается сорбционное увлажнение материалов в конструкции. В расчете определяется протяженность зоны выпадения конденсата и количество образующегося конденсата в единицу времени.

Температурно-влажностный режим рассчитывается для периода возможного выпадения конденсата (холодное время года) и для периода его сушки (теплое время года) при среднемесячных температуре и влажности воздуха.

По результатам расчета определяется материальный баланс влаги в конструкции и возможность ее накопления в круглогодичном цикле.

Результаты расчета выдаются в графическом и табличном виде. На графиках приводятся распределение температур  $t$ , °С, по толщине конструкции, изменение максимальной упругости водяного пара  $E$ , мм рт. ст., и фактической упругости пара  $e$ , мм рт. ст., по толщине конструкции с учетом распределения температур и возможной конденсации, изменение относительной влажности воздуха  $\phi$ , % и сорбционная влажность материалов в слое  $\omega$ , % по массе, и количество влаги в конструкции в круглогодичном цикле. На рис. 4.5.1 в качестве примера приведены результаты расчета влажностного режима ограждающей конструкции с утеплителем из волокнистого теплоизоляционного материала в качестве среднего слоя (кирпич — 380 мм; утеплитель — 120 мм; кирпич — 120 мм) для жилого дома в г. Перми.



г. Пермь	Помещ.	Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.
Температура, °С	20,0	1,4	-6,3	-12,7	-15,3	-13,4	-6,9	2,6	10,2	15,7	18,0	15,4	9,3
Отн. влажность, %	55,0	75,0	75,0	81,0	81,0	81,0	75,0	75,0	75,0	69,0	69,0	69,0	75,0
Объем конденс., кг/м²	0,00	0,00	0,65	1,87	3,22	4,48	5,19	4,79	3,13	0,00	0,00	0,00	0,00

Рис. 4.5.1. Пример расчета влажностного режима ограждающей конструкции с минераловатным утеплителем в качестве среднего слоя (кирпич — 380 мм; утеплитель — 120 мм; кирпич — 120 мм) для жилого дома в Перми

Результаты расчетов влажностного режима различных вариантов ограждающих конструкций зданий позволяют сделать обобщенные выводы о необходимости дополнительной парозащиты рассмотренных вариантов конструкций.

Необходимый уровень теплозащиты наружных ограждений зданий определяется требованиями СНиП II-3-79\* в зависимости от числа градусосуток отопительного периода (ГСОП) для каждого региона.

При проектировании в расчетах учитываются требования соответствующих СНиП для зданий различного назначения:

- жилые, лечебно-профилактические, детские учреждения, школы, интернаты;
- общественные, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным и мокрым режимами;
- производственные с сухим и нормальным режимами.

При выборе марки утеплителя для конкретной конструкции следует учитывать, что гидрофобизированные материалы большей плотности характеризуются более высокой долговечностью (т. е. сроком эксплуатации без разрушения) при одновременно более высокой стоимости, обусловленной повышенными затратами при производстве.

### 4.5.3. Строительные конструкции с применением эффективных утеплителей

В современной практике наибольшее применение получили следующие типы конструктивных решений по утеплению зданий:

- трехслойные стены с утеплителем в качестве среднего слоя и наружной облицовкой из кирпича. Различают конструкции с вентилируемым зазором и без него;
- наружное утепление зданий со штукатурным покрытием;
- наружное утепление стен с вентилируемым зазором и облегченной защитно-декоративной облицовкой изделиями типа «сайдинг», «ранила», «этернит» и др.

С учетом новых требований к теплозащите зданий и продолжительности отопительного периода дополнительное утепление применяется в следующих видах ограждающих конструкций:

- кирпичные стены толщиной 250 и 380 мм с наружной защитно-декоративной стенкой из кирпича толщиной 120 мм (новое строительство);
- стены из легкобетонных панелей или блоков толщиной 250 и 380 мм с защитно-декоративной стенкой из керамического кирпича (новое строительство и реконструкция);
- кирпичные стены толщиной 510 и 640 мм с наружной защитно-декоративной стенкой из кирпича толщиной 120 мм (реконструкция);
- наружное утепление стен из кирпича, легкобетонных панелей и блоков со штукатурным покрытием;
- конструкции наружного утепления с вентилируемым зазором и защитно-декоративным экраном для кирпичных стен толщиной 250 и 380 мм (новое строительство и реконструкция);

– конструкции наружного утепления с вентилируемым зазором и защитно-декоративным экраном для стен из легкобетонных панелей и блоков толщиной 250 и 380 мм;

– конструкции наружного утепления с вентилируемым зазором и защитно-декоративным экраном для кирпичных стен толщиной 510 и 640 мм (реконструкция);

– утепление стен из бруса толщиной 150 мм с облицовкой кирпичом с вентилируемым зазором и без вентилируемого зазора;

– утепление стен из бруса толщиной 150 мм с облицовкой вагонкой или защитно-декоративным экраном с вентилируемым зазором;

– конструкции утепления чердачных помещений и мансард со скатными крышами;

– конструкции утепления перекрытий для чердаков, неотапливаемых подвалов и сквозных проездов.

**Применение утеплителей в качестве среднего слоя в трехслойных конструкциях стен с наружной облицовкой кирпичом (рис. 4.5.2).** Конструкции утепленных стен, в которых предусмотрено применение утеплителей в качестве среднего слоя между несущей или самонесущей стеной из кирпича или бетона и защитно-декоративной облицовкой из кирпича, применяются как при новом строительстве, так и при реконструкции эксплуатируемых зданий.

Эти конструкции выполняются либо в виде колодезной кладки, либо с использованием гибких связей из коррозионно-стойкой стали или стеклопластиковой арматуры.

Для обеспечения требуемого влажностного режима в конструкции может быть предусмотрен вентилируемый зазор между наружной поверхностью утеплителя и кирпичной облицовкой.

В качестве наружной облицовки могут применяться кирпич, камни керамические лицевые по ГОСТ 7484–78, силикатный кирпич по ГОСТ 379–79. При проектировании конструкций с наружной облицовкой кирпичом учитываются требования СНиП II–22–81 «Каменные и армокаменные конструкции». При новом строитель-

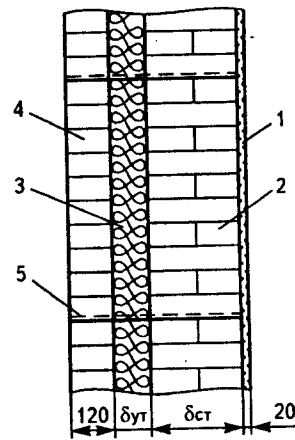


Рис. 4.5.2. Кирпичная стена с утеплением плитами из минерального или стеклянного волокна: 1 – внутренняя штукатурка; 2 – несущая кирпичная стена; 3 – плиты теплоизоляционные; 4 – облицовка из лицевого кирпича; 5 – гибкие связи

стве облицовка из кирпича армируется сварной арматурной сеткой, а при реконструкции закрепляется на утепляемой стене при помощи анкеров, распорных дюбелей или пристрелочных дюбель-гвоздей по ТУ 14-4-1231–83.

Конструкции утепления с облицовкой кирпичом допускается применять в зданиях всех степеней огнестойкости по СНиП 2.01.02-85, в том числе с применением утеплителей, относящихся к группе Г1 по ГОСТ 30244. В трехслойных конструкциях стен без вентилируемого зазора в качестве утеплителя применяются материалы, указанные в табл. 4.5.1.

В трехслойных конструкциях с вентилируемым зазором рекомендуется применять теплоизоляционные плиты, оклеенные с одной стороны стеклохолстом. Стеклохолст в этих конструкциях выполняет функции ветрозащиты.

В конструкциях с вентилируемым зазором при использовании плит, не оклеенных стеклохолстом, по наружной поверхности теплоизоляции предусматривают ветрозащитные покрытия, например паропроницаемую мембрану «JUTAVEK» (фирма «JUTA») или покрытие Tyvek (фирма «Du Pont Engineering Products S.A.»).

Ориентировочные значения толщины теплоизоляционного слоя из утеплителя с коэффициентом теплопроводности 0,04 Вт/(м·К) для некоторых регионов Российской Федерации в условиях эксплуатации Б приведены в табл. 4.5.3 и 4.5.4.

Расчеты выполнены для кирпичных стен толщиной 250, 380, 510 и 640 мм и стен из легкого бетона толщиной 250 и 380 мм с защитно-декоративной облицовкой в полкирпича.

Проведенные расчеты влажностного режима стен показывают, что в рассматриваемых вариантах конструкций, кроме конструкций с вентилируемым зазором, наблюдается выпадение конденсата в холодное время года практически во всех климатических зонах России. Однако количество выпадающего конденсата различно и для большинства регионов не происходит его накопления в конструкции при круглогодичном цикле за счет высыхания в теплое время года. Необходимость в дополнительной парозащите определяется проверочным расчетом степени увлажнения материалов в конструкции и соответствием этого показателя требованиям СНиП II–3–79\*.

Если расчетом установлена необходимость устройства дополнительной пароизоляции, то следует включить в конструкцию дополнительный паровой барьер на границе между внутренней поверхностью утеплителя и наружной поверхностью основной стены. Требуемое дополнительное сопротивление паропрооницанию определяется по методике СНиП II–3–79\*. В качестве дополнительного парового барьера могут быть использованы:

**Расчетная толщина теплоизоляционного слоя в конструкции утепления кирпичных стен толщиной 250 и 380 мм с наружной защитно-декоративной стенкой из такого же кирпича толщиной 120 мм**

Таблица 4.5.3

Город РФ	ГСОП	Тип помещения	$R_o^{TP}, (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$	Толщина кирпичной стены, мм	
				380	250
				Толщина теплоизоляционного слоя, мм	
2	3	4	5	9	13
Архангельск	5700	1	3,4	137	146
		2	2,91	111	120
		3	2,14	72	80
Пермь	5500	1	3,32	133	141
		2	2,85	107	117
		3	2,1	70	76
Москва	4600	1	3,0	116	124
		2	2,58	94	102
		3	1,92	60	69
Новороссийск	1800	1	2,03	65	72
		2	1,52	38	47
		3	1,36	31	39
Санкт-Петербург	4400	1	2,94	113	121
		2	2,52	90	99
		3	1,88	57	67
Якутск	10 000	1	4,90	216	224
		2	4,20	179	187
		3	3,00	117	125

– листовые и пароизоляционные материалы по Приложению 11\* СНиП II-3-79\*.

– диффузионные пленки «Ютафол-Д»;

– теплоизоляционные изделия с покрытием из крафт-бумаги.

При этом в расчете влажностного режима конструкции учитывается сопротивление паропрооницанию покрытия.

Конструктивное решение дополнительного парового барьера определяется технологией возведения или реконструкции стен.

В трехслойных конструкциях с кирпичной наружной облицовкой теплоизоляционные плиты устанавливаются свободно в вертикальном положении в пространстве между основной стеной и облицовочным слоем кирпича.

В таких конструкциях в качестве разгрузочных (опорных) элементов для утеплителя могут служить гибкие связи и крепления, предусмотренные для облицовки в соответствии с проектом.

**Толщина тепловой изоляции для стен из легкобетонных панелей или блоков с защитно-декоративной стенкой из керамического кирпича. Новое строительство и реконструкция**

Таблица 4.5.4

Город РФ	ГСОП	Тип помещения	$R_o^{TP}, (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$	Толщина стены из бетонных панелей или блоков, мм	
				380	250
				Толщина теплоизоляционного слоя	
Архангельск	5700	1	3,4	123	134
		2	2,91	97	109
		3	2,14	58	69
Пермь	5500	1	3,32	118	130
		2	2,85	94	106
		3	2,1	55	67
Москва	4600	1	3	102	113
		2	2,58	79	91
		3	1,92	46	58
Новороссийск	1800	1	2,03	51	62
		2	1,52	24	36
		3	1,36	16	28
Санкт-Петербург	4400	1	2,94	98	110
		2	2,52	76	88
		3	1,88	44	56
Якутск	10 000	1	4,9	202	213
		2	4,2	165	177
		3	3	103	115

При устройстве вентилируемого зазора следует предусматривать дистанционные элементы, обеспечивающие вентилируемое пространство между облицовочным слоем и утеплителем. Дистанционные устройства устанавливаются по опорным элементам.

**Конструкции наружного утепления зданий**

К преимуществам систем наружного утепления зданий следует отнести следующие факторы:

– наружное утепление защищает ограждающие конструкции (стены, покрытия, перекрытия над неотапливаемыми подвалами и т. д.) от воздействий переменных температур наружного воздуха, благодаря чему улучшается их температурно-влажностный режим, исключается появление трещин, возрастает долговечность;

– при эксплуатации точка росы перемещается во внешний теплоизоляционный слой, что улучшает влажностный режим внутренних частей ограждающих конструкций;

- обеспечивается благоприятный режим работы ограждающих конструкций по условиям паропроницаемости (расположение слоев в порядке возрастающей плотности, устраняется паровой барьер);
- формируется более благоприятный микроклимат помещения за счет повышения температуры внутренних поверхностей стен, потолка и пола над подвалом и уменьшения перепада температур внутреннего воздуха и поверхности стены;
- при наружном утеплении стен не уменьшается площадь помещений;
- при реконструкции достигается возможность улучшения оформления фасадов и проведения строительных работ без отселения жильцов.

При наружной теплоизоляции зданий возрастает теплоаккумулирующая способность утепляемой стены. Так, при наружной теплоизоляции кирпичных стен при отключении отопления они остывают значительно медленнее, чем при внутренней изоляции такой же толщины, что особенно актуально при печном отоплении индивидуальных домов.

Наружное утепление зданий при реконструкции и капитальном ремонте должно проводиться с учетом результатов обследования технического состояния утепляемого фасада, с оценкой его прочности, наличия трещин, влажности и т. д., так как эти показатели являются определяющими при выборе конструкции крепления, ее эксплуатационной надежности и долговечности.

В настоящее время в России фирмами «ТЕХ-COLOR», «DAMMSYSTEM HESK», «ФАСАД-ТЕХНОЛОГИЯ» и др. применяются различные варианты системы наружного утепления с оштукатуриванием фасадов, отличающиеся как конструктивными особенностями, так и применяемыми материалами.

Принципиальное техническое решение системы утепления «Fassolit», применяемое фирмой «ФАСАД-ТЕХНОЛОГИЯ», представлено на рис. 4.5.3.

Теплоизоляционные плиты «ФАСАД-БАТТС» наклеиваются на предварительно очищенную сухую поверхность утепляемой стены при помощи строительного клея Baumit.

После высыхания клея (24 часа) на наружную поверхность утеплителя наносится выравнивающий слой из грунтовочного раствора, армируемый сразу после нанесения сеткой из стекловолна.

По первому армированному слою устанавливаются пластмассовые дюбели со стальным стержнем. Необходимое количество дюбелей определяется этажностью здания и составляет 6—8 шт/м<sup>2</sup> для зданий высотой до 8 м и 10—12 шт/м<sup>2</sup> для зданий повышенной этажности.

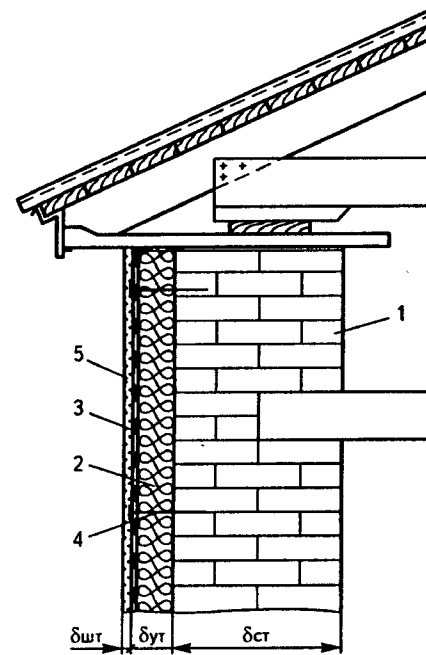


Рис. 4.5.3. Утепление кирпичной стены здания минераловатными плитами со штукатурным покрытием по системе «Фасолит». Узел примыкания к карнизу:  
1 – несущая кирпичная стена; 2 – плиты минераловатные; 3 – армирующая сетка; 4 – дюбель с шайбой; 5 – штукатурное покрытие

После установки дюбелей наносится второй слой раствора, покрывающий шляпки дюбелей, который также армируется стеклосеткой. Далее последовательно наносится грунтовка, декоративная штукатурка и защитная окраска.

Помимо указанных элементов в конструкции предусмотрены элементы отделки цоколя, углов здания и фасонных участков.

Для армирования штукатурного покрытия используют сетки из стеклянных или синтетических волокон или металлические сетки с антикоррозионным покрытием.

Плиты утеплителя устанавливаются со смещением швов по горизонтали, зубчатой перевязкой в углах здания, обрамлении оконных проемов с вырезом «по месту».

Теплоизоляционные плиты в конструкции наружного утепления со штукатурным покрытием устанавливаются не более чем в два слоя.

В конструкциях со штукатурным покрытием рекомендуется защитно-декоративное покрытие цоколя выполнять из материалов повышенной прочности (кирпич, керамические плиты и др.).

В соответствии с существующими требованиями в штукатурном покрытии предусматривают вертикальные и горизонтальные деформационные швы, заполняемые нетвердеющими герметиками или с установкой водоотбойной ленты.

При наружном утеплении плиты утеплителя закрепляются на несущей основе при помощи распорных металлических, пластмассовых или комбинированных дюбелей.

Допускается комбинированное крепление — клеевое и механическое — для плит плотностью более 60 кг/м<sup>3</sup>. При этом клей рекомендуется наносить полосами или точно во избежание создания сплошного парового барьера (слой клея).

Необходимое количество дюбелей на единицу поверхности определяется расчетом по известным методикам с учетом технического состояния поверхности утепляемой стены и прочностных характеристик применяемых дюбелей. Расстояние между дюбелями в горизонтальной плоскости должно быть не более 70—80 см, в вертикальной — не более 20—30 см.

В конструкциях используются дюбель-анкеры как импортных производителей («Hilti», «Fischer», «Hardo» и др.), так и отечественные, номенклатура и технические характеристики которых приводятся в каталогах специализированных дистрибьюторских компаний («Стройкомплект», «Максмир» и др.).

Расчеты, выполненные для кирпичных стен толщиной 250, 380, 510 и 640 мм и стен из легкого бетона толщиной 250 и 380 мм со штукатурным покрытием из раствора (песок, известь, цемент) с характеристиками паропроницаемости и теплопроводности по Приложению 3 СНиП II-3-79\*, показали, что в конструкции при определенном сочетании свойств применяемых материалов и внешних и внутренних условий эксплуатации может происходить конденсация влаги на границе утеплителя и наружного штукатурного покрытия, однако образующееся количество конденсата высыхает в теплое время года для большинства регионов России.

При использовании штукатурных покрытий с отличными от указанных свойствами (по паропроницаемости и теплопроводности) следует проводить проверочный расчет возможности конденсации и накопления влаги в конструкции.

### **Конструкции наружного утепления с вентилируемым зазором**

Система наружного утепления с вентилируемым зазором и защитно-декоративным покрытием из листовых или штучных материалов (металлический и виниловый сайдинг, профилированные металлические покрытия «ранила», плиты «этернит», керамическое покрытие «интерстоун», стеклофибробетонные плиты «СЕМ STONE» и др.) применяется при реконструкции и новом строительстве зданий (рис. 4.5.4).

Защитный экран из листовых или штучных материалов предохраняет утеплитель от механических повреждений, атмосферных осадков, воздействия ветра и солнечной радиации. Улучшает внешний вид и облегчает выполнение работ при ремонте тепловой изоляции ограждающих конструкций.

Вентилируемый зазор предотвращает накопление влаги в конструкции, что способствует как повышению ее теплозащитных

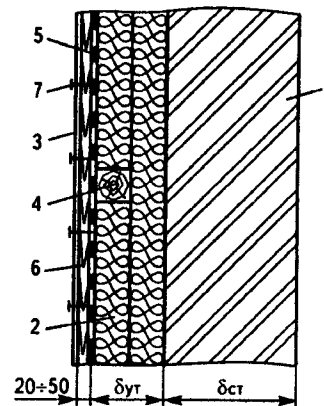


Рис. 4.5.4. Утепление кирпичной стены плитами из стекловаты с облицовкой листовым или плитным материалом по деревянному каркасу с вентилируемым зазором:

1 — кирпичная стена; 2 — утеплитель; 3 — облицовка плитным или листовым материалом; 4 — деревянный каркас; 5 — ветрозащита; 6 — дистанционный элемент; 7 — крепежный элемент

свойств, так и долговечности, улучшается температурно-влажностный режим помещений.

Конструкция изоляции с применением защитного экрана позволяет вести строительные и ремонтные работы круглогодично. При этом повышается степень индустриализации строительно-монтажных работ по утеплению зданий и снижаются трудозатраты при строительстве и ремонте.

Утеплитель и защитно-декоративное покрытие крепятся с использованием специальных систем крепления и крепежных элементов. Системы крепления отличаются большим разнообразием и разрабатываются применительно к конкретному виду покрытия.

При изоляции дачных домиков, а также в сельском строительстве для крепления изоляции и облицовки наряду с дюбелями и анкерами могут использоваться гвозди с плоской шляпкой большого диаметра или обычные, но с шайбами из подручного материала.

В конструкциях с вентилируемым зазором по теплоизоляционному слою необходимо устанавливать ветрозащиту. Используются пленки «Ютафол-Д», «Тайвек». Возможно применение стеклотканей, стеклосеток или пергамина (в дачном и малоэтажном строительстве).

Все металлические элементы крепления должны быть защищены антикоррозионными покрытиями или выполнены из коррозионно-стойкой стали.

В конструкциях с вентилируемым зазором и защитно-декоративным покрытием из штучных или листовых горючих и трудногорючих материалов следует предусматривать расчески из негорючих материалов.

Фасадные защитно-декоративные покрытия на высоте до 2,5 м от земли должны быть достаточно прочными или защищенными от возможных механических повреждений.

Анализ результатов проведенных расчетов влажностного режима различных вариантов утепленных стен (кирпичные, керамзитобетонные, деревянные) показывает, что в конструкциях с вентилируемым зазором и проницаемым защитно-декоративным покрытием не требуется устройство дополнительного парозащитного слоя для всех климатических зон России.

### **Применение волокнистых теплоизоляционных материалов в покрытиях, перекрытиях и перегородках зданий**

Тепловая изоляция покрытий позволяет обеспечить благоприятный микроклимат в помещениях за счет повышения температуры внутренней поверхности покрытия (потолка) и уменьшения перепада температур внутреннего воздуха и поверхности потолка, в том числе и в чердачных помещениях.

Утепление скатных крыш позволяет превратить чердачное помещение в жилое, что увеличивает полезную площадь жилья, а утепление кровли из металлического профилированного настила предотвращает выпадение конденсата на его поверхности в холодное время года, что очень важно, например, для складских помещений.

Теплоизоляционные изделия низкой плотности типа «URSA» марок М15, М17, П15Г, П17Г используются в следующих конструкциях покрытий:

— покрытия с рулонными и мастичными кровлями по СНиП П-26-76 «Кровли»: типа П-6 — утепленное с асбестоцементными полыми плитами; типа П-7 — утепленное с асбестоцементными каркасными плитами и вентилируемой воздушной прослойкой;

— покрытия с кровлями из асбестоцементных волнистых листов типа ПЛ-2 по СНиП П-26-76 — утепленное с железобетонными или асбестоцементными несущими плитами и вентилируемой воздушной прослойкой.

Для утепления скатных крыш с кровлями из металлических листов, металлочерепицы, асбестоцементных, волокнистых листов, черепицы и других листовых и штучных кровельных материалов используются теплоизоляционные маты и плиты плотностью до  $100\text{—}125\text{ кг/м}^3$ . В покрытиях с кровлей и основанием из профилированного металлического настила также используют волокнистые теплоизоляционные материалы низкой и средней плотности. Швы нижнего профилированного настила должны быть герметизированы. По нижнему настилу предусматривается пароизоляционный слой из полиэтиленовой пленки или другого листового пароизоляционного материала. По наружной

поверхности утеплителя предусматривается гидроизоляционный слой, защищающий теплоизоляцию от увлажнения при возможном попадании капельной влаги в конструкцию.

В совмещенных покрытиях используются жесткие волокнистые теплоизоляционные материалы марок 150—225 по плотности, изделия из пеностекла, ячеистого бетона, плиты из полистиролбетона и другие теплоизоляционные материалы, характеризующиеся достаточной прочностью на сжатие.

В утепленных покрытиях наличие пароизоляционного слоя, устанавливаемого между основанием и внутренней поверхностью утеплителя, является обязательным. Требуемое сопротивление паропрооницанию пароизоляционного слоя определяется с учетом направления теплового потока «снизу — вверх», сопротивления паропрооницанию отдельных слоев покрытия и наружных и внутренних параметров среды.

Для утепления чердачных перекрытий и перекрытий над техподпольем и сквозными проездами могут быть использованы теплоизоляционные маты и плиты из волокнистых материалов плотностью  $20\text{—}100\text{ кг/м}^3$ . В конструкциях чердачных перекрытий утеплитель укладывается поверх перекрытия между элементами несущего каркаса деревянного настила, предохраняющего утеплитель от внешних механических воздействий.

По нижней поверхности теплоизоляционного слоя (между перекрытием и теплоизоляцией) следует предусматривать пароизоляционный слой, предотвращающий диффузию пара из помещения к холодной наружной поверхности.

Необходимость устройства парозащиты и требуемое дополнительное сопротивление паропрооницанию на границе между плитой перекрытия и утеплителем определяются с учетом направления теплового потока «снизу — вверх» на основании результатов расчета влажностного режима конструкции при заданных внешних и внутренних параметрах среды и паропрооницаемости элементов конструкции. Для деревянных перекрытий обычно требуется большее дополнительное сопротивление паропрооницанию, для железобетонных — меньшее.

В случае установления необходимости дополнительной парозащиты конструкции могут быть использованы подкровельные или пароизоляционные пленки фирмы «JUTA» или отечественные материалы (пергамин, толь, рубероид, полимерные пленки и т. д.).

В качестве пароизоляционного слоя используются паронепроницаемые пленки «Ютафол-Н-110», «Ютафол-Н-140», «Ютафол-Н-220» (в зависимости от требуемого сопротивления паропрооницанию) или отечественные пароизоляционные материалы по Приложению 11\* к СНиП П-3-79\*.



Требуемое дополнительное сопротивление паропроницанию, предотвращающее конденсацию влаги в конструкции, определяется в соответствии с требованиями СНиП II-3-79\*.

### **Конструкции тепловой изоляции стен при малоэтажном и коттеджном деревянном строительстве**

При малоэтажном и коттеджном строительстве наружное утепление стен вновь строящихся и реконструируемых зданий может выполняться в виде:

- фасадов со штукатурным покрытием;
- фасадов, облицованных кирпичом или другими мелкоштучными изделиями;
- фасадов с защитно-декоративным покрытием.

В малоэтажном сельском строительстве, в том числе и при строительстве деревянных домов, могут применяться все указанные выше виды защитно-декоративного покрытия.

Штукатурное покрытие по металлической сетке можно использовать только при изоляции плитами с плотностью не менее  $45 \text{ кг/м}^3$ , при этом наличие несущего каркаса (деревянного или металлического) для закрепления сетки обязательно.

При утеплении стен деревянных домов и коттеджей нет поэтажных ограничений и можно применять любую марку изделий «URSA» и любой тип облицовки.

Изделия «URSA» рекомендуется устанавливать в каркасных деревянных и металлических конструкциях с облицовкой вагонкой, доской, цементно-стружечной плитой, а также применять для наружного утепления брусовых или бревенчатых домов с указанными видами облицовок и кирпичом.

При облицовке домов из бруса или бревен кирпичом рекомендуется использовать минераловатные и стекловатные плиты плотностью  $20\text{—}75 \text{ кг/м}^3$ . Применение плит с большей плотностью приводит к удорожанию строительства, но продлевает срок эксплуатации дома.

При других видах облицовок рекомендуется применение как матов всех выпускаемых марок, так и плит с плотностью до  $45 \text{ кг/м}^3$ .

Все детали деревянного каркаса должны быть обработаны антисептиками и антипиренами.

Плиты утеплителя при изоляции вертикальных поверхностей при двухслойной (и более слоев) изоляции должны устанавливаться с перекрытием швов.

**Защитно-декоративные покрытия, ветрозащитные и пароизоляционные материалы, детали крепления. Конструкции крепления и ма-**

териалы защитно-декоративного покрытия в системах наружного утепления зданий с вентилируемым зазором отличаются большим разнообразием.

Для облицовки фасадов многоэтажных зданий применяются покрытия «этернит», «интерстоун», керамическая плитка и т. д.

Профилированные металлические покрытия «ранила» применяются для облицовки фасадов производственных зданий.

В малоэтажном и коттеджном строительстве наиболее эффективны покрытия типа «сайдинг» (металлический и полимерный), а также традиционная для России вагонка.

В качестве ветрозащиты в конструкциях с вентилируемым зазором могут быть использованы материалы, обладающие гидроизоляционными и ветрозащитными свойствами при достаточно высокой паропроницаемости.

К таким материалам относятся: диффузионные пленки фирмы «JUTA» (Чешская республика) — «JUTAVEK», «JUTAFOL-D»; ветро- и гидроизоляционные материалы «Tyvek», выпускаемые фирмой «Du Pont Engineering Products S.A.» (Люксембург), а также пергамин, гидрофобизированные стеклохолсты и стеклоткани.

Технические характеристики материалов инофирм приведены в таблицах 4.5.5 и 4.5.6.

Технические характеристики отечественных материалов следует принимать по соответствующим государственным стандартам или техническим условиям и СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника».

В качестве пароизоляционных материалов в ограждающих конструкциях с применением утеплителей «URSA» могут быть использованы паронепроницаемые пленки «JUTAFOL-H» и «JUTAFOL-NAL», а также отечественные пароизоляционные материалы по Приложению 11 СНиП II-3-79\*.

Системы крепления конструкций наружного утепления стен зданий определяются массой и конструктивными особенностями покрытий, деформативными и прочностными свойствами утеплителя.

Расчеты на прочность выполняются по известным методикам в зависимости от расчетной схемы крепежного элемента.

При расчете крепления на отрыв учитывают ветровой отсос по СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия», массу элементов, составляющих теплоизоляционную конструкцию, и прочностные показатели несущих крепежных элементов. Физико-механические характеристики материала стен реконструируемых зданий принимают по результатам предварительного обследования фактического состояния стен.

**Технические характеристики диффузионных и пароизоляционных пленок фирмы «JUTA»**

Таблица 4.5.5

Наименование пленки	Паропроницаемость за 24 часа, г/м <sup>2</sup> , по DIN 53122	Эквивалентное диффузионное сопротивление	Эквивалентная диффузионная толщина, С <sub>д</sub> , м	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>
<b>Подкровельные</b>				
<i>диффузионные микроперфорированные</i>				
Ютафол Д 110 Стандарт	22,65	7215μ	2,09	110
Ютафол Д 110 Специал	22,65	7215μ	2,09	110
Ютафол Д 140 Стандарт	30,52	4143μ	1,20	140
Ютафол Д 140 Специал	30,52	4143μ	1,20	140
Ютафол Д 220 Стандарт	20,0	5800μ	1,40	220
Ютафол Д 220 Специал	20,0	5800μ	1,40	220
<i>супердиффузионная мембрана</i>				
Ютавек	1200	21μ	0,013	114
<i>абсорбционная (антиконденсационная)</i>				
Ютакон Н 140 ВС УВ	0,352	321514μ	7702	140
<b>Паронепроницаемые (паробарьеры)</b>				
Ютафол Н 110 Стандарт	0,90	210152μ	46	110
Ютафол Н 110 Специал	0,90	210152μ	46	110
Ютафол Н 140 Стандарт	1,10	148275μ	43	140
Ютафол Н 140 Специал	1,10	148275μ	43	140
Ютафол Н 220 Стандарт	0,52	185714μ	78	220
Ютафол Н 220 Специал	0,52	185714μ	78	220
<i>пленка с отражательным покрытием</i>				
Ютафол НАЛ 170 Специал	0,20	938600μ	188	170

**Технические характеристики рулонного пленочного материала типа «Тайвек» фирмы «Du Pont Engineering Products S.A.» (Люксембург)**

Таблица 4.5.6

Техническая характеристика	Единица измерения	«Тувек» («Тайвек»), марки	
		«Soft»	«Pro»
Масса, не менее	г/м <sup>2</sup>	60	130
Толщина, не менее	мм	0,2	0,5
Паропроницаемость за 24 часа	г/м <sup>2</sup>	830	940
Водонепроницаемость в течение 10 мин, не менее	кг/см <sup>2</sup>	5	5
Разрывная нагрузка при растяжении, не менее	кг/см <sup>2</sup>	11	23
Относительное удлинение	%	30	21
Прочность на отрыв при закреплении гвоздем с диаметром шляпки 9 мм	кг	9,4	16,9
Теплостойкость, не менее	°С	95	95

## Глава 5. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Расширение областей применения различных теплоизоляционных материалов и конструкций ставит перед наукой и практикой важные вопросы обеспечения высокого их качества, и в первую очередь проблему долговечности.

Понятие долговечности теплоизоляционных материалов может быть определено как способность их сохранять заданное время главные эксплуатационные показатели в конкретных условиях. Следовательно, для определения долговечности необходимо знать условия, в которых находится теплоизоляционный материал в проектируемой конструкции.

Наметившаяся в отечественной и зарубежной практике тенденция к созданию и более широкому применению в строительстве облегченных ограждающих конструкций для зданий и сооружений общего и специального назначения обусловила резкое увеличение потребности в теплоизоляционных материалах повышенной тепло- и огнестойкости. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют теплоизоляционные материалы на основе перлита, некоторые виды поризованных пластмасс, а также из минерального и стеклянного волокна. Их применение в легких слоистых ограждающих конструкциях (рис. 5.1) позволяет реально уменьшить материалоемкость при строительстве, а также снизить энергозатраты и расход топлива в процессе эксплуатации.

В связи со сравнительно низкой теплостойкостью отдельных видов поризованных пластмасс и дефицитом сырья для массового изготовления огнестойких теплоизоляционных изделий Госстроем России введены ограничения на применение отдельных видов пенопластов в строительстве. На перспективу предусмотрено увеличение производства изделий на основе перлита, а также минераловатных, стекловолоконистых и других изделий. Наибольшее промышленное производство из всей довольно широкой гаммы теплоизоляционных материалов и изделий, как это отмечено в предыдущих разделах учебного пособия, имеют минераловатные маты и плиты (более 50%). С учетом этого вопросы эксплуатационной стойкости теплоизоляционных материалов в настоящем учебном пособии рассмотрены на примере минераловатных изделий (МВИ).

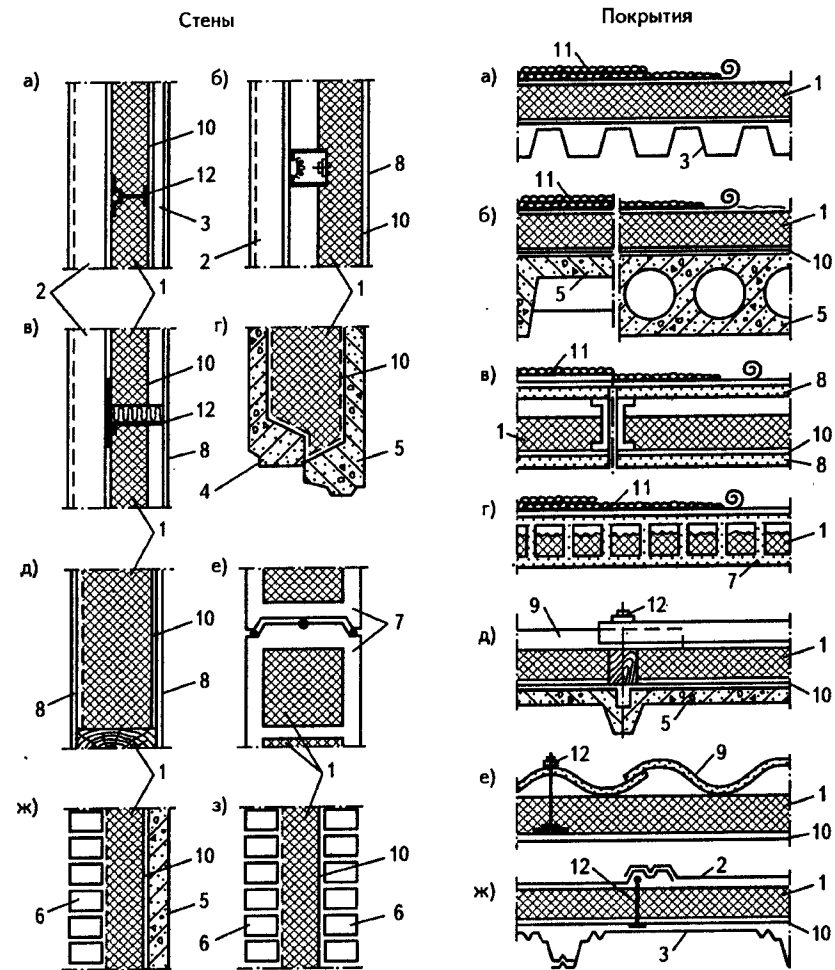


Рис. 5.1. Конструкции стен и покрытий с минераловатными утеплителями: а – конструкции с использованием металлических профилированных листов; б–з – конструкции с применением различных материалов: 1 – минераловатный утеплитель; 2 – наружный металлический профилированный лист; 3 – внутренний металлический профилированный лист; 4 – наружный железобетонный слой; 5 – анутренний железобетонный слой; 6 – кирпич; 7 – экструзионная асбестоцементная панель; 8 – асбестоцементные и другие плоские листы; 9 – асбестоцементные листы волнистого профиля; 10 – пароизоляционный слой; 11 – рулонная кровля на мастике по минераловатному теплоизоляционному слою; 12 – соединительный элемент

Минераловатные изделия (МВИ) изготавливают из минеральной ваты, которая представляет собой рыхлый материал, состоящий из тонких волокон стекловидной структуры и неволоконистых вклю-

чений. Особенности технологии, количественное соотношение волокон и неволокнистых включений, физико-химические характеристики волокна и используемых в производстве связующих определяют эксплуатационные свойства МВИ [6, 15].

МВИ являются достаточно сложным объектом для исследования эксплуатационных свойств, что во многом обусловлено также особенностями их структуры: волокнистый каркас (пористость 88—95%) из волокон минеральной ваты средним диаметром 6—9 мкм и длиной до 30—50 мм, скрепленных в процессе тепловой обработки в изделие с заданными свойствами с помощью синтетического связующего (3—8% по массе) или путем прошивки сформированной структуры полимерными нитями, металлической проволокой и т. п. Не только вид сырья, свойства волокон и связующих, но и особенности структуры, степень заводской готовности МВИ также влияют на их эксплуатационные свойства.

Водостойкость волокон повышается при увеличении значений модуля кислотности (рис. 5.2).

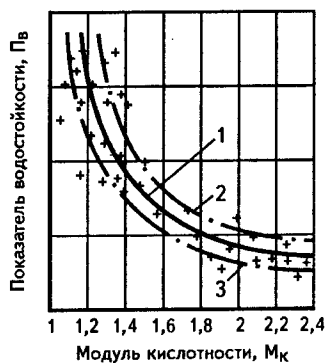


Рис. 5.2. Влияние модуля кислотности на показатель водостойкости волокон минеральной ваты: 1 — средние значения; 2, 3 — соответственно максимальные и минимальные значения; + — фактические значения

материалов. Естественно, что на эти показатели существенно влияют вид применяемого связующего, длительность и условия его хранения. Даже если волокно и имеет повышенную стойкость к агрессивным и температурно-влажностным воздействиям, долговечность минераловатных изделий во многом определяется эксплуатационными свойствами связующего (рис. 5.3, 5.4).

К числу основных технологических факторов, влияющих на формирование повышенных эксплуатационных свойств минерало-

Поверхностные слои волокон, изготовленных из базальтов и мергелей и многокомпонентных шихт, имеют меньшее количество дефектов, чем волокна из шлаков.

Заданная структура минераловатного ковра, состоящая из волокон минераловатной ваты, неволокнистых включений и синтетического связующего (до 8—10 % по массе), закрепляется в процессе тепловой обработки. От того, насколько равномерно будет распределено это связующее в объеме ковра и насколько полно оно будет отверждено при тепловой обработке, зависят прочностные и эксплуатационные свойства минераловатных



Рис. 5.3. Изменение прочности нейтрализованных фенолоспиртов марки Б при  $\varphi = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  и  $t = 98 \pm 2\%$  в зависимости от степени их отверждения, %: 1 — 65—70; 2 — 75—80; 3 — 85—87; 4 — 93—95

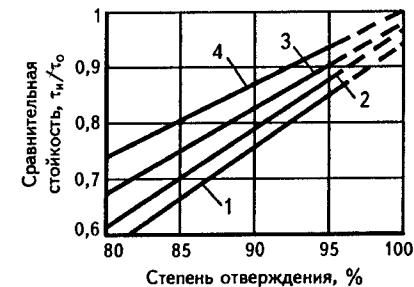


Рис. 5.4. Зависимость сравнительной стойкости синтетических связующих от степени их отверждения:

1 — фенолоспирты марки В; 2 — нейтрализованные фенолоспирты марки Б; 3 — нейтрализованные фенолоспирты марки Д и смола СФ-3047 Н; 4 — смола СФ-3047 Н (нейтрализованные фенолоспирты марки П) с модификатором АГМ-9

ватных материалов, относится полнота отверждения связующего, зависящая главным образом от режимов тепловой обработки ковра. При недостаточной степени поликонденсации фенолоспиртов минераловатные материалы интенсивно разрушаются даже в условиях склада при температуре 18—20 °С, причем с увеличением влажности до 100% деструктивные процессы интенсифицируются (рис. 5.3), поэтому в первые дни хранения при положительных температурах минераловатные материалы с недостаточной степенью отверждения связующих незначительно доупрочняются вследствие продолжающихся процессов структурирования неотвержденной части связующего, а затем резко теряют прочность: степень разрушения тем выше, чем меньше степень отверждения связующего, ниже температура и выше влажность окружающего воздуха [6].

Резкие колебания температур, переменная влажность и агрессивные воздействия, которые испытывает минераловатный материал в конструкции, приводят к развитию микродефектов и трещин в волокне, а также возникновению внутренних напряжений в каркасе материала преимущественно в местах сосредоточения групп волокон на границах раздела фаз «волокно — связующее», что приводит к ослаблению связей между связующим и волокном, нарушению структуры изделия и постепенному его возможному разрушению.

Наибольшие разрушения наблюдаются в слое тепловой изоляции, непосредственно примыкающем к наружному слою конструкции стеновой панели, рулонной кровле покрытия здания, внешним слоям изолируемых оборудования и трубопроводов. Уменьшение

расчетной (оптимальной) толщины слоя минераловатной тепловой изоляции не только ухудшает ее запроектированные качества, но и может способствовать интенсификации деструктивных процессов в изоляционном слое и снижению его надежности.

В соответствии с действующим стандартом (ГОСТ 13377) надежность определяется свойством объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных свойств в заданных пределах, соответствующих расчетным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Эксплуатационные свойства МВИ, применяемых в качестве слоя тепловой изоляции в ограждающих конструкциях, связаны с нестационарными воздействиями температуры и влаги. Стойкость материалов при периодических колебаниях температурно-влажностных факторов (эксплуатационная стойкость) имеет доминирующее значение.

Вместе с тем отдельные минераловатные изделия в ряде случаев недостаточно стойки в условиях повышенной влажности, что приводит к ухудшению функциональных и строительных свойств изделий (вплоть до разрушения) еще до их применения в конструкциях. Следовательно, основными показателями, по изменению которых можно исследовать эксплуатационные свойства МВИ, могут быть морозо- и влагостойкость, предусмотренные стандартами.

Как известно, оценку стойкости ряда материалов (бетонов, кирпича и др.) к воздействию температур и влажности проводят в основном после их испытаний на морозостойкость. Однако материалы, показавшие при испытаниях низкую морозостойкость, оказывались в ряде случаев достаточно надежными даже в суровых арктических условиях. Известны примеры, когда изделия, образцы которых полностью выдерживают стандартные испытания на морозостойкость, сравнительно быстро разрушаются в процессе эксплуатации. Данное обстоятельство объясняется в основном тем, что при испытаниях на морозостойкость не соблюдается подобие с теми условиями, которые испытывает данный материал в реальных ограждающих конструкциях, вследствие чего многие факторы, влияющие на эксплуатационные свойства, остаются неучитенными [6].

Поэтому исследования на морозостойкость теплоизоляционных материалов целесообразно проводить при одностороннем циклическом замораживании и оттаивании (а.с. № 209826) в условиях, близких к тем, в которых теплоизоляционный материал находится в ограждающей конструкции: с одной стороны образца на него воздействуют температура и влажность внутреннего микроклимата отапливаемого помещения, а с противоположной — в этот же

период времени — расчетные температуры и влажность наружного воздуха. Предусмотрена возможность изучения влияния агрессивных факторов, а также проведения сопоставимых одновременных испытаний образцов под нагрузкой. В основу этой методики в отличие от стандартного метода определения морозостойкости принята обратная предпосылка: нужно определять число циклов ускоренных испытаний в камере, доводящих испытываемые образцы до допустимого (для конкретных условий эксплуатации) снижения прочности или другого обусловленного свойства материала, ниже которого не могут быть гарантированы расчетные эксплуатационные свойства.

### **5.1. Методика и аппаратура для исследования долговечности теплоизоляционных материалов и конструкций**

Для повышения достоверности данных об эксплуатационных свойствах исследуемых МВИ разработаны рабочие схемы комплексных исследований в климатических камерах на естественное старение и в натуральных конструкциях (рис. 5.5).

#### **Характеристика схем исследований в климатической камере**

Схемы «С/1», «С/0,7» и «С/1,2»: исследования образцов МВИ применительно к условиям эксплуатации в стеновых панелях. Циклическое замораживание (оттаивание) образца происходит только с одной его стороны при постоянных температуре и влажности с противоположной стороны образца (показано знаком +).

Схема «С/1»: исследования образца, имеющего толщину ( $h$ ), отвечающую условию  $R_{\text{т}}^{\text{ЭК}}/R_{\text{т}}^{\text{ТР}}=1$ , где  $R_{\text{т}}^{\text{ЭК}}$  и  $R_{\text{т}}^{\text{ТР}}$  — соответственно принятое по расчету экономически целесообразное и определенное из санитарно-гигиенических условий требуемое сопротивление теплопередаче слоя тепловой изоляции в стеновой панели. Толщина слоя утеплителя в данном случае принята за условную единицу ( $h=1$ ), для всех других схем — по п.1.

Схема «С/0,7»: исследования при уменьшенной толщине слоя утеплителя ( $0,7 h$ ), обеспечивающей  $R_{\text{т}}^{\text{ЭК}}/R_{\text{т}}^{\text{ТР}}=0,7$ .

Схема «С/1,2»: исследования при увеличенной толщине слоя утеплителя ( $1,2 h$ ), обеспечивающей  $R_{\text{т}}^{\text{ЭК}}/R_{\text{т}}^{\text{ТР}}=1,2$ .

Схемы «П/1», «П/0,7», «П/1,2», «ПН/1», «ПН/0,7», «ПН/1,2»: исследования образцов МВИ применительно к условиям эксплуа-

Схемы испытаний				Натурные
Морозостойкость	В климатической камере			
	одностороннее замораживание — оттаивание			
	при $h=1$	при $0,7h$	при $1,2h$	
<p><b>М</b></p>	<p><b>С/1</b></p>	<p><b>С/0,7</b></p>	<p><b>С/1,2</b></p>	<p><b>НС</b></p>
<p><b>МН</b></p>	<p><b>П/1</b></p>	<p><b>П/0,7</b></p>	<p><b>П/1,2</b></p>	<p><b>НП</b></p>
				<p>Естественное старение</p> <p>ЕС ЕСН</p>

Рис. 5.5. Рабочие схемы комплексных исследований эксплуатационных свойств теплоизоляционных материалов в климатической камере и в натуральных условиях:

■ — исследуемый образец; ■ — изоляция образца; □ — пространственный каркас; +○— циклическое замораживание — оттаивание образца;  $q$  — расчетная нагрузка; 1, 2 — наружная и внутренняя обшивки стеновой панели; 3 — несущий элемент покрытия; 4 — рулонная кровля; 5 — пароизоляционный слой;  $t_1$  и  $\phi_1$  — расчетные температура и влажность воздуха внутри помещения;  $t_2$  и  $\phi_2$  — то же наружного воздуха в летний период;  $t_3$  и  $\phi_3$  — то же в зимний период;  $t_f$  и  $\phi_f$  — фактические значения температуры и влажности наружного воздуха в натуральных условиях;  $h$  — расчетная толщина слоя теплоизоляционного материала ( $h = 1$  при  $R_{ут}^{эк}/R_{ут}^{тр} = 1$ ;  $h = 0,7$  при  $R_{ут}^{эк}/R_{ут}^{тр} = 0,7$ ;  $h = 1,2$  при  $R_{ут}^{эк}/R_{ут}^{тр} = 1,2$ );  $R_{ут}^{эк}$  и  $R_{ут}^{тр}$  — соответственно принятое по расчету экономически целесообразное и определенное из санитарно-гигиенических условий требуемое сопротивление теплопередаче слоя тепловой изоляции

тации в покрытиях зданий с рулонной кровлей. Циклическое замораживание (оттаивание) образца происходит только с одной его стороны при постоянных температуре и влажности с противоположной стороны.

Схема «П/1»: исследования при толщине теплоизоляционного слоя,  $R_{ут}^{эк}/R_{ут}^{тр} = 1$ , где  $R_{ут}^{эк}$  и  $R_{ут}^{тр}$  — соответственно принятое по расчету экономически целесообразное и определенное из санитарно-гигиенических условий требуемое сопротивление теплопередаче слоя тепловой изоляции в покрытии. Толщина слоя утеплителя по схеме «П/1» принята за условную единицу ( $h = 1$ ).

Схема «П/0,7»: исследования при уменьшенной толщине слоя тепловой изоляции ( $0,7 h$ ), обеспечивающей  $R_{ут}^{эк}/R_{ут}^{тр} = 0,7$ .

Схема «П/1,2»: исследования при увеличенной толщине слоя тепловой изоляции ( $1,2 h$ ), обеспечивающей  $R_{ут}^{эк}/R_{ут}^{тр} = 1,2$ .

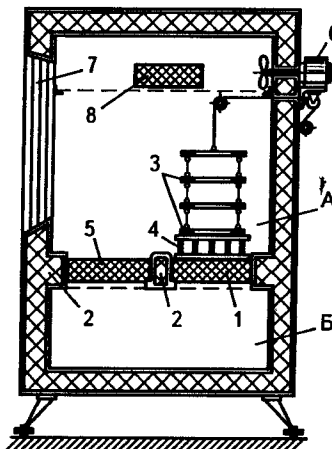


Рис. 5.6. Принципиальная схема камеры для исследования эксплуатационной стойкости минераловатных материалов (а.с. № 224870):

А — отделение с искусственным переменным климатом наружного воздуха; Б — отделение с искусственным постоянным климатом отапливаемого помещения; 1 — образец под нагрузкой; 2 — изоляция камеры; 3 — гиляндрная система нагружения; 4 — пространственный каркас; 5 — образец без нагрузки; 6 — вентилятор; 7 — смотровое окно; 8 — образец для одновременных испытаний на морозостойкость

Схемы «ПН/1», «ПН/0,7» и «ПН/1,2» — разновидности схем соответственно «П/1», «П/0,7» и «П/1,2», но при наложении на поверхности исследуемых образцов равномерно распределенной нагрузки ( $g$ ) через пространственный проволочный каркас, исключая искажение теплового потока (рис. 5.6).

### Исследования на морозостойкость в климатических камерах

Циклическое замораживание (оттаивание) образца происходит со всех его сторон. Конструкция камеры позволяет проводить эти исследования одновременно и вместе с исследованием образцов на одностороннее замораживание — оттаивание, что создает сопоставимые условия для достоверной оценки данных по этим двум методикам [6, 11].

Для обеспечения исследований по схемам «С», «П», «ПН» и «М» разработана конструкция климатической камеры (рис. 5.6). Она состоит из двух теплоизолированных отделений (А и Б), между которыми размещены исследуемые образцы (1 и 5). Снизу образцов в отделении Б поддерживаются температура ( $18 \pm 2$  °С) и влажность над образцами, в отделении А — переменные температура и влажность наружного воздуха (замораживание и оттаивание), изменяющиеся по заданному режиму. Например, для условий Московской области режим испытаний в отделении А камеры был следующим:

замораживание образцов до температуры  $-25$  °С ( $\pm 2$  °С) в течение 4,5 ч; оттаивание — 3,5 ч. Длительность каждого цикла испытаний 8 ч, в каждом цикле два перехода через 0 °С. Скорость замораживания в принятом режиме была выше скорости оттаивания, что

позволило имитировать реальные резкие переходы температур в зимний период. Сочетание быстрого замораживания и медленного оттаивания вызывает в материале наибольшие разрушения. Это связано с образованием при быстром замораживании значительного количества замерзшей влаги, не успевшей перераспределиться по объему образца, а при медленном оттаивании — с глубоким перераспределением.

Таким образом обеспечиваются условия исследований, близкие к тем, в которых материал находится в ограждении в условиях эксплуатации: с одной стороны на образец воздействуют температуры и влажность внутреннего микроклимата отапливаемого помещения, а с противоположной — в этот же период времени — расчетные влажность и знакопеременные температуры наружного воздуха. Конструкция камеры обеспечивает также (и это предусмотрено методикой) возможность одновременного изучения влияния нагрузок (на образец 1) и испытания образца 8 на морозостойкость. Для этого предварительно подготовленные образцы (с заранее определенными геометрическими характеристиками, плотностью, прочностью и др.) размещали в проеме, разделяющем камеры А и Б, а образец 8 устанавливали в камере А на решетчатой полке, что обеспечивало возможность одновременного испытания образцов на морозостойкость.

Для проведения исследований может быть переоборудована практически любая климатическая камера. Возможен упрощенный вариант: в обычном холодильнике размещают переносной теплоизолированный короб, внутри которого установлены источники для создания постоянных расчетных температур и влажности микроклимата отапливаемого помещения.

Натурные исследования эксплуатационных свойств МВИ по схемам «НС» и «НП» (см. рис. 5.5) проводят при обследовании их состояния в конструкциях (ограждающих конструкциях зданий, оборудования, тепло- и хладопроводов). При этом фиксируют тепловлажностное состояние утеплителя и отбирают пробы для изучения количественных и качественных изменений в слое тепловой изоляции.

## 5.2. Методика и аппаратура для исследования влагостойкости минераловатных материалов

Имеющийся опыт практического применения МВИ, а также результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что их

эксплуатационные свойства, как и многих других материалов, снижаются со временем, причем наиболее интенсивно — при повышенной влажности, вплоть до разрушения структуры еще до их применения в ограждающих конструкциях.

В минераловатных изделиях, как известно, может присутствовать технологическая вода — она остается в них после изготовления (не превышает 1,0—1,5%) — и эксплуатационная, приобретаемая не только при транспортировании, монтаже и эксплуатации, но и в условиях хранения, даже если нет непосредственного контакта с водой.

Свойство минераловатных изделий поглощать (сорбировать) влагу из окружающего воздуха называется гигроскопичностью, а достигаемое при этом увлажнение — сорбционной или равновесной влажностью. Сорбционные свойства теплоизоляционных материалов оценивают при разных значениях влажности воздуха (32, 54, 75, 95, 98 %).

В соответствии с действующими стандартами минераловатные изделия выдерживают при 98 % ( $\pm 2$  %) влажности воздуха. Способность материалов сопротивляться разрушающему воздействию влаги называется влагостойкостью. Ее оценивают по степени снижения упруго-прочностных характеристик минераловатных изделий (прочности или сжимаемости) после выдерживания образцов в течение 3 суток в эксикаторе при температуре ( $22 \pm 5$ ) °С и влажности ( $98 \pm 2$ ) %.

Из-за сравнительной длительности испытаний эта методика недостаточно эффективна для оперативного и заводского контроля качества изготавливаемых МВИ, так как данные о влагостойкости становятся известными после отгрузки готовой продукции потребителям. Этот недостаток исключается при испытании в камере, конструкция которой приведена на рис. 5.7.

Камера состоит [12] из негерметизированного сосуда 1 с крышкой 13, снабжена источником нагрева 4 и термометром 12. Внутри сосуда 1 расположен свободно плавающий сетчатый поддон 2, снаружи — указатели уров-

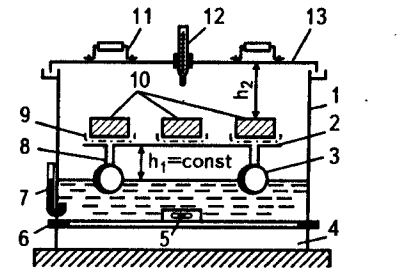


Рис. 5.7. Принципиальная схема камеры для ускоренных исследований влагостойкости минераловатных материалов (а.с. № 10783303): 1 — корпус камеры; 2 — решетчатый плавающий поддон; 3 — поплавки; 4 — нагревательный элемент; 5 — уровень горизонтальности; 6 — регулировочные винты; 7 — указатель уровня воды; 8 — стойки; 9 — сетчатый контейнер; 10 — опытные образцы; 11 — ручки; 12 — термометр; 13 — верхняя съемная часть



ня кипящей воды 7 и ее горизонтальности 5. В процессе испытаний образец 10 устанавливают в сетчатый контейнер 9 и размещают на поддоне 2, который на стойках 8 прикреплен к «поплавкам» 3, обеспечивающим постоянный зазор  $h_1 = 80\text{—}100$  мм между низом образца и верхом кипящей воды. Для корректировки горизонтальности устройства предусмотрены регулировочные винты 6, для удобства съема горячей крышки 13 в верхней ее части размещены ручки 11. Зазор между верхом образца  $h_2 = 100\text{—}150$  мм.

Сущность ускоренного метода исследования влагостойкости заключается в том, что вместо 3—10-суточных испытаний образца в эксикаторе на сорбционное увлажнение при температуре  $(22 \pm 5)^\circ\text{C}$  и влажности среды  $(98 \pm 2)\%$  производят их кратковременную выдержку (до 15—20 минут) в среде водяных паров при температуре  $(98 \pm 2)^\circ\text{C}$  и влажности  $(98 \pm 2)\%$ . Заданное время испытаний в интервале до 20 минут определяют по достижении значения влагостойкости, соответствующего значениям прочности и сжимаемости, полученным после сорбционного увлажнения, соответствующего известному значению влагостойкости, определенному ранее при 3—10-суточных испытаниях (при температуре  $(22 \pm 5)^\circ\text{C}$  и влажности  $(98 \pm 2)\%$ ). Затем испытывают образцы по ускоренной методике и строят тарировочный график (рис. 5.8): на оси ординат откладывают значение прочности (А) или сжимаемости (А1), полученное при 3—10-суточных стандартных испытаниях в эксикаторе, продляют его до пересечения с кривой 1(2), полученной по данным ускоренных испытаний в среде водяных паров, и на оси абсцисс получают значение требуемого времени ускоренных испытаний (соответственно Б или Б1).

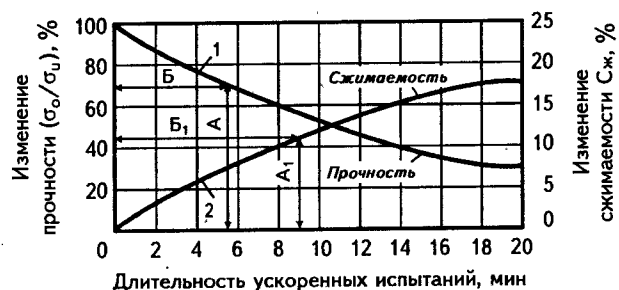


Рис. 5.8. Тарировочный график для определения длительности ускоренных исследований влагостойкости: 1, 2 – кривые изменения соответственно прочности на сжатие ( $\sigma$ ) и сжимаемости (Сж) по ускоренной методике; А и А<sub>1</sub> – значения соответственно прочности и сжимаемости после сорбционного увлажнения; Б и Б<sub>1</sub> – значения времени ускоренных испытаний, соответствующие значениям прочности и сжимаемости, полученным после сорбционного увлажнения

В дальнейшем (например, при ежедневных испытаниях и контроле качества плит на предприятии-изготовителе), используя однажды построенный тарировочный график для конкретного вида изделия, определяют влагостойкость только ускоренным методом и сравнивают ее с соответствующим значением влагостойкости на тарировочном графике. Изменение влагостойкости может свидетельствовать об ухудшении качества связующего, нарушении технологии и т. п.

Данные о сравнительной эксплуатационной стойкости МВИ на различных синтетических связующих приведены в табл. 5.1.

Сравнительная эксплуатационная стойкость минераловатных плит

Таблица 5.1

№ по табл. 5.2.	Материал	Сравнительная эксплуатационная стойкость в климатических условиях		
		Москвы	Мурманска	Ташкента
1	Плиты на фенолоспиртах марки «Б» (без нейтрализации щелочей)	0,35	0,28	0,53
2	Плиты на фенолоспиртах марки «В»	0,63	0,55	0,80
3	Плиты на нейтрализованных фенолоспиртах марки «В»	1,0	0,87	1,15
4	Плиты на карбамидном связующем «МФ»	0,55	0,50	0,90
5	Плиты на фенолоспиртах марки «Д» (СФ-3047 Н)	1,25	0,95	1,30
6	Плиты на связующем из ПВАЭ и фенолоспирта (2,7 : 1)	1,60	1,50	1,60
7	Плиты на связующем из хлоропренового латекса и фенолоспирта в соотношении 3 : 1	1,50	1,40	1,40

### 5.3. Прогнозирование эксплуатационных свойств минераловатных теплоизоляционных материалов

Качество ограждающих конструкций должно отвечать требованиям нормативных документов и характеризуется техническими и эксплуатационными свойствами, которые обеспечиваются безотказностью, ремонтпригодностью и долговечностью конструктивных элементов, а также свойствами применяемых материалов. Совокупность этих свойств определяет надежность работы здания или сооружения в целом при заданных режимах эксплуатации в заданном отрезке времени (сроке службы). А эксплуатационная стойкость

теплоизоляционного слоя в ограждающей конструкции определяется свойством длительно сохранять работоспособность вплоть до предельного состояния, при котором его дальнейшая эксплуатация становится невозможной из-за физического износа, а восстановление экономически нецелесообразно.

При определении рациональной области применения и выборе оптимального вида теплоизоляционного материала важно знать не только его теплозащитные и физико-механические свойства, но также и эксплуатационную стойкость в проектируемых условиях.

В качестве главных эксплуатационных показателей (ГЭП), наиболее полно характеризующих эксплуатационные свойства слоя утеплителя из минераловатных материалов в ограждающих конструкциях, могут быть приняты: предел прочности на растяжение — для минераловатных материалов, применяемых в каркасных перегородках и стеновых панелях; предел прочности на сжатие при 10 %-ной деформации — для минераловатных материалов, используемых в покрытиях зданий с рулонной кровлей.

Прочность минераловатного теплоизоляционного слоя внутри ограждающей конструкции снижается во времени: на графиках «прочность — длительность испытаний» практически во всех случаях имеем кривую типа экспоненты с отрицательным степенным показателем, причем начальная часть этой кривой имеет тенденцию снижения к горизонтальной оси (в полулогарифмическом масштабе наблюдается излом прямой: наибольшие разрушения отмечены в первые 3—5 лет эксплуатации в конструкциях зданий и в первые 100—150 циклов испытаний в климатических камерах).

Наличие ярко выраженного излома прямых в полулогарифмическом масштабе не позволяет проводить прогнозирование по данным кратковременных испытаний путем экстраполяции их за пределы эксперимента. Поэтому для прогнозирования наиболее достоверным может быть аналитический метод, в соответствии с которым сначала устанавливают вероятный закон снижения прочности (кривую долговечности), затем определяют константы расчетных формул [6].

Характер изменения начальной прочности минераловатных материалов при их эксплуатации в стенах и покрытиях зданий (рис. 5.9) может быть описан с помощью уравнения вида:

$$\sigma_{(n)} = (\sigma_0 - \sigma^*) \cdot e^{-\alpha n} + \sigma^*,$$

где  $\sigma_{(n)}$  — текущее значение прочности минераловатного материала;

$\sigma_0$  — начальная прочность минераловатного материала в ограждающей конструкции;

$\sigma^*$  — значение прочности минераловатного слоя на стадии практического разрушения (отказа) в конструкции стены;

$\alpha$  — показатель, характеризующий комплексное влияние эксплуатационных факторов на снижение во времени физико-механических и теплозащитных свойств слоя минераловатной тепловой изоляции;

$n$  — прогнозируемая эксплуатационная стойкость минераловатной тепловой изоляции в стенах и покрытиях зданий.

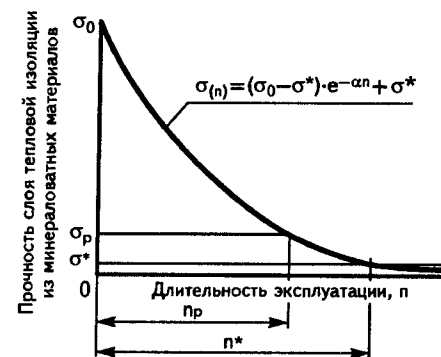


Рис. 5.9. Характер изменения прочности слоя тепловой изоляции из минераловатных материалов в процессе длительной эксплуатации в стенах и покрытиях зданий:

$\sigma_0$  — начальная прочность минераловатного материала в ограждающей конструкции;  $\sigma_p$  — расчетное значение прочности слоя тепловой изоляции из минераловатных материалов в конструкции стены или покрытия;  $\sigma^*$  — значение прочности тепловой изоляции из минераловатных материалов на стадии практического разрушения (отказа) в конструкции стены;  $p_p$  — прогнозируемое значение срока надежной эксплуатации минераловатного утеплителя (годы);  $p^*$  — прогнозируемое значение срока эксплуатации минераловатного утеплителя на стадии разрушения, отказа (годы);  $\alpha$  — показатель, характеризующий комплексное влияние эксплуатационных факторов на снижение во времени физико-механических и теплозащитных свойств слоя минераловатной тепловой изоляции;  $n$  — прогнозируемая эксплуатационная стойкость минераловатной тепловой изоляции в стенах и покрытиях зданий

Упростим уравнение:

$$\sigma_{(n)} - \sigma^* = (\sigma_0 - \sigma^*)e^{-\alpha n};$$

$$\ln(\sigma_{(n)} - \sigma^*) = \ln(\sigma_0 - \sigma^*) - \alpha n.$$

Прочность слоя минераловатной тепловой изоляции в конструкции на стадии практического разрушения ( $\sigma^*$ ), очевидно, больше нуля (физически  $\sigma^* \approx$  прочности ковра без связующего). Например, для минераловатных плит повышенной жесткости, применяемых в качестве утеплителей в покрытиях зданий с рулонной кровлей, значение  $\sigma^* \approx$  прочности на сжатие минераловатного ковра без связу-

ющего и составляет 1,1—2,7 кПа, что почти на порядок ниже фактических напряжений ( $\sigma_{\phi}$ ) в слое тепловой изоляции и значительно ниже минимально допустимых значений ( $\sigma_p$ ).

С учетом изложенного, вероятно, можно пренебречь значением ( $\sigma^*$ ) и получить приближенное решение задачи в виде:

$$n = \frac{\ln \sigma_0 / \sigma_{(n)}}{\alpha}$$

Однако для практического прогнозирования эксплуатационной стойкости минераловатного утеплителя в конструкции интерес при проектировании представляют в первую очередь только те значения  $\sigma_0$ ,  $\sigma_{(n)}$ ,  $\alpha$  и  $n$ , которые позволяют получить конкретное решение задачи: при каких значениях начальной прочности  $\sigma_0$  и известном  $\alpha$  могут быть получены необходимые значения минимально допустимой прочности слоя утеплителя  $\sigma_p$  к концу прогнозируемого срока его эксплуатации в покрытии  $n_p$ . Значение  $n_p$  необходимо знать на стадии проектирования для того, чтобы учитывать этот фактор при выборе оптимальных решений тепловой изоляции из минераловатных материалов.

Под прогнозируемой эксплуатационной стойкостью, следовательно, понимается расчетное время, в течение которого слой утеплителя из минераловатных материалов способен обеспечивать запроктированные теплозащитные качества ограждающей конструкции. При недостаточной прочности слоя теплоизоляции возможна его деформация, что приводит к снижению запроктированного термического сопротивления слоя утеплителя со всеми вытекающими из этого отрицательными последствиями.

Рассмотрим методику на примере прогнозирования эксплуатационной стойкости минераловатных плит повышенной жесткости, плит ленточного формования, а также плит горячего прессования, используемых в качестве слоя тепловой изоляции в покрытиях промышленных зданий с рулонной кровлей.

Многолетними натурными исследованиями ЦНИИПромзданий и других организаций установлено, что при замене рулонной кровли практически полностью заменяется минераловатный теплоизоляционный слой. Поэтому необходимо, чтобы расчетный срок службы слоя теплоизоляции ( $n_p^T$ ) как основания под рулонную кровлю был не менее расчетного срока службы кровли ( $n_p^K$ ). С учетом изложенного, а также исходя из сроков службы других элементов покрытия теплоизоляционный слой должен иметь показатель эксплуатационной стойкости  $n_p^T \geq n_p^K$ . Исходя из изложенного, при  $\sigma_{(n)} = \sigma_p$

$$n = \frac{\ln \sigma_0 / \sigma_p}{\alpha_p}$$

или

$$n = \frac{\lg \sigma_0 / \sigma_p}{0,434 \alpha_p},$$

где  $\alpha_p$  — расчетный коэффициент, характеризующий комплексное влияние эксплуатационных факторов на изменение во времени прочности слоя минераловатной тепловой изоляции и его теплозащитных качеств в покрытии с учетом корреляционной связи между параметрами его структуры и качества, а также их изменения во времени в проектируемой конструкции покрытия при заданном термическом сопротивлении [6];

0,434 — коэффициент пересчета от натуральных логарифмов к десятичным.

$$\alpha_p = \frac{K_b / K_c}{K_T},$$

где  $K_b$  — критерий сравнительной стойкости минеральных волокон, учитывающий влияние вида, качества и среднего диаметра минеральных волокон, с использованием которых изготовлено изделие, на изменение свойств волокна во времени в структуре минераловатной изоляции при длительных циклических ежегодно повторяющихся температурно-влажностных воздействиях; значение  $K_b$  определяется по табл. 5.5 или по графику на рис. 5.11; измеряется в  $^{\circ}\text{C} \cdot \% / \text{год}^2$ ;

$K_c$  — критерий сравнительной стойкости связующего, учитывающий влияние вида, качества и степени отверждения синтетического связующего, с использованием которого изготовлены плиты, на изменение свойств связующего во времени в структуре изделия при длительных циклических ежегодно повторяющихся температурно-влажностных воздействиях: определяется по графику на рис. 5.10.; измеряется в  $\text{год} / (^{\circ}\text{C} \cdot \%)$ ;

$K_T$  — критерий уровня тепловой защиты слоя минераловатной изоляции в зависимости от его фактического термического сопротивления в конструкции покрытия промышленного здания с рулонной кровлей;  $K_T$  — величина безразмерная и определяется из соотношения

$$K_T = R_{yT}^{\text{ЭК}} / R_{yT}^{\text{ТР}}$$

Соотношение справедливо для  $K_T = 0,7—1,2$ .

$R_{yT}^{\text{ЭК}}$  и  $R_{yT}^{\text{ТР}}$  — соответственно принятое по расчету экономически целесообразное и определенное из санитарно-гигиенических усло-

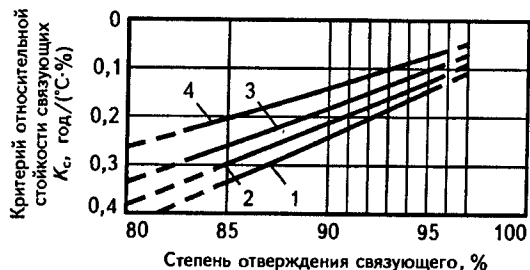


Рис. 5.10. Зависимость критерия сравнительной стойкости синтетических связующих от степени их отверждения в минераловатной плите: 1 – на фенолоспиртах марки В; 2 – на нейтрализованных фенолоспиртах марки Б; 3 – на фенолоспиртах марки Д и смоле типа СФ-3047 Н; 4 – на смоле СФ-3047 Н с модификатором АМГ-9

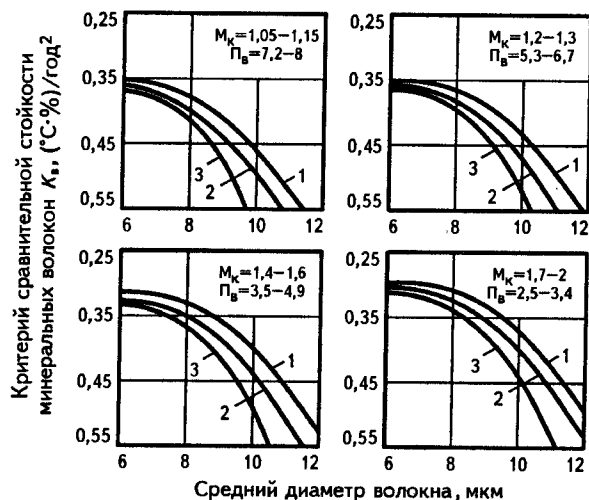


Рис 5.11. Зависимость критерия сравнительной стойкости минеральных волокон ( $K_s$ ) от их среднего диаметра, модуля кислотности ( $M_k$ ) и показателя водостойкости ( $P_b$ ) для плит:

1 – ленточного формирования и прессованных марки 200; 2 и 3 – из гидромассы марки 200 соответственно по безнасосной и насосной схемам производства

вий требуемое сопротивление теплопередаче слоя тепловой изоляции в покрытии; рассчитывается по СНиП II-3-98 «Строительная теплотехника».

При проектировании (выборе оптимального теплоизоляционного материала с учетом его эксплуатационных свойств) предпочтительно пользоваться значениями критериев, приведенными в табл. 5.2; при проведении научно-исследовательских работ, а также при решении практических вопросов о возможности использования тех или иных

минераловатных теплоизоляционных материалов, изготовленных с отступлениями от действующих стандартов (по прочности, модулю кислотности, степени отверждения и др.) — значениями критериев  $K_c$  и  $K_b$  из рис. 5.10 и 5.11.

Таблица 5.2

Наименование плит	$K_T$	$K_b$	$K_c$ по рис. 5.10				Примечание
			1	2	3	4	
1. Плиты минераловатные повышенной жесткости из гидромассы (ГОСТ 22950)	1,0	0,35	0,23	0,21	0,17	0,14	Изготавливаются на технологических линиях (СМТ-194) и др. При плотности не более $250 \text{ кг/м}^3$ должны иметь прочность на сжатие не менее $1 \text{ кгс/см}^2$ ( $100 \text{ кПа}$ )
2. Плиты минераловатные повышенной жесткости горячего прессования и ленточного формирования (ГОСТ 9573)	1,0	0,33	0,23	0,21	0,17	0,14	Изготавливаются на технологических линиях ЛМТП-20, СМТ-198 и др. При плотности не более $200 \text{ кг/м}^3$ плиты должны иметь прочность на сжатие не менее $0,4 \text{ кгс/см}^2$ ( $40 \text{ кПа}$ ); при плотности до $300 \text{ кг/м}^3$ — не менее $1 \text{ кгс/см}^2$ ( $100 \text{ кПа}$ )

Примечание:

Значения  $K_T$  приведены при  $R_{ут}^{ак} \approx R_{ут}^{тп}$ .

Значения  $K_c$  даны для плит на фенолоспиртах с непросроченным сроком хранения и при степени отверждения в изделиях не менее 90 %: 1 и 2 – нейтрализованные фенолоспирты марок «В» и «Б»; 3 – фенолоспирты марок «Д» и «СФ-3047Н»; 4 – фенолоспирты марки «СФ-3047Н» с модификатором АМГ-9.

Значения  $K_b$  приведены при среднем диаметре волокна в плитах до 8 мкм и  $M_k=1,4-1,6$ .

При использовании минераловатных плит, изготовленных с отклонением от требований стандартов по степени отверждения связующих и по качеству волокна, значения  $K_c$  и  $K_b$  могут быть скорректированы по рис. 5.7 и 5.8.

## 5.4. Пример определения расчетной эксплуатационной стойкости минераловатных теплоизоляционных материалов

**Задание.** Учащимся на практическом занятии предлагается выбрать теплоизоляционный материал для утепления покрытия промышленного здания с рулонной кровлей, проектируемого в Мос-

ковской области (рис. 5.12). Выбор необходимо произвести из трех видов минераловатных плит: плиты из гидромассы, полусухого формования и горячего прессования (табл. 5.3).

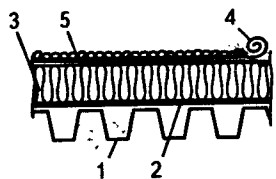


Рис. 5.12. Конструкция покрытия:  
1 – оцинкованный штампованный металлический настил; 2 – пароизоляционный слой; 3 – минераловатный утеплитель; 4 – 4-слойная рулонная кровля; 5 – защитный гравийный слой

Таблица 5.3

Показатель	Единица измерения	Значения показателей для плит		
		из гидромассы	полусухого формования	горячего прессования
1. Плотность (объемная масса) плит	кг/м <sup>3</sup>	250	200	300
2. Прочность на сжатие при 10 %- ной деформации, $\sigma_0$	кПа	100	40	100
3. Теплопроводность при $25 \pm 5$ °С	Вт/м · К	0,052	0,050	0,054
Данные для прогнозирования				
4. Критерий $K_f$ по табл. 5.2 при $R_{\text{ут}}^{\text{эк}} = R_{\text{ут}}^{\text{тр}}$	–	1,0	1,0	1,0
5. Критерий $K_c$ по табл. 5.2 и рис. 5.10 при степени отверждения фенолоспиртов марки «Б» не менее 90 %	год/(°С · %)	0,21	0,21	0,21
6. Критерий $K_c$ по табл. и рис., при среднем диаметре волокна до 8 мкм и $M_k = 1,5$	(°С · %)/год <sup>2</sup>	0,35	0,33	0,33
7. Предельно допустимое значение прочности плит на сжатие в конце прогнозируемого (проектируемого) срока эксплуатации, $\sigma_p$	кПа	22	14	18
8. Требуемая эксплуатационная стойкость тепловой изоляции, $n_p^T$	годы	20,2	20,0	20,0
9. Прогнозируемое значение эксплуатационной стойкости тепловой изоляции, $n$	годы	20,4	15,2	24,6

Примечание. Данные для прогнозирования (пп. 4–9 настоящей таблицы) определены по приведенным выше формулам.

Рулонные кровли из битумных материалов, получившие широкое распространение в мировой практике для защиты зданий от атмосферных осадков, имеют в большинстве случаев недостаточную долговечность. По имеющимся данным, сроки эксплуатации рулонных кровель до капитального ремонта в зависимости от использованных материалов, качества выполнения работ и климатических условий составляют 5–10 лет. Обследования, выполненные Ю.Б. Монфредом и Л.В. Поповой, проанализировавшими изменения состояния кровель 142 зданий начиная со дня устройства кровель до капитального ремонта, дали примерно те же результаты: усредненный срок эксплуатации до капремонта рулонных кровель составил 10–12 лет. В то же время по данным ЦНИИПромзданий, ЦНИИОМТП, НПО «Полимерстройматериалы» и др., при правильном устройстве и регулярных текущих ремонтах рулонные кровли с применением легкоплавких кровельных мастик, защищенных гравийным слоем, успешно эксплуатируются до 15–20 лет. Расчетный срок службы покрытий со стальными профилированными настилами и рулонной кровлей с защитным слоем гравия может составлять, по данным ЦНИИПромзданий Госстроя России, около 20 лет при условии регулярного проведения текущих ремонтов кровли.

**Вывод:** из рассмотренных минераловатных материалов для проектируемых условий с учетом данных табл. 5.2 могут быть приняты плиты твердые горячего прессования и плиты из гидромассы, прогнозируемая эксплуатационная стойкость составляет более 20 лет.

**Примечание:** при проведении практических занятий в учебных заведениях строительного профиля, при дипломном проектировании и при практическом выборе взаимозаменяемых теплоизоляционных материалов целесообразно использовать для расчетов вычислительную технику.

Компьютерные учебные программы для проведения практических занятий разработаны совместно кафедрой методологии Государственной академии профессиональной переподготовки специалистов инвестиционной сферы и кафедрой технологии теплоизоляционных материалов МГСУ (научные руководители: Ю.Л. Бобров, Е.Ю. Петухова).

Данные об области возможного применения минераловатных теплоизоляционных материалов различной структуры приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Наименование минераловатных изделий	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие при 10 %-ной деформации, кПа	Ограждающие конструкции					
			покрытия		стены 3-слойные		перегородки каркасные	
			соамещенные	вентилируемые	железобетон (монолит)	вентилируемые		
Маты, в том числе строительные прошивные и армированные	35-100	0,5-2,5	▽ <sub>Т</sub>	⊕	▽ <sub>Т</sub>	⊕	⊕	
Изделия на синтетических связующих: 1) горизонтально-слоистой структуры	35-125	0,5-3,5	▽ <sub>Т</sub>	⊕	▽ <sub>Т</sub>	⊕	⊕	
	150-175	10-30	▽ <sub>Т</sub>	△	▽ <sub>Т</sub>	⊕	△	
	200-250	20-40	▽ <sub>Т</sub>	▽ <sub>3</sub>	▽ <sub>Т</sub>	△	△	
	300-350	100-130	⊕	▽ <sub>3</sub>	△	▽ <sub>3</sub>	▽ <sub>3</sub>	
	2) из гидромассы 3) вертикальной слоистости с изоляционным слоем	200-250	100-130	⊕	▽ <sub>3</sub>	△	▽ <sub>3</sub>	▽ <sub>3</sub>
		175-200	100-130	⊕	▽ <sub>3</sub>	△	▽ <sub>3</sub>	▽ <sub>3</sub>
	4) гофрированной структуры	75-100	10-15	▽ <sub>Т</sub>	⊕	▽ <sub>Т</sub>	⊕	⊕
135-150		30-40	▽ <sub>Т</sub>	△	▽ <sub>Т</sub>	△	△	
175-200		60-70	▽ <sub>Т</sub>	▽ <sub>3</sub>	△	▽ <sub>3</sub>	▽ <sub>3</sub>	

Примечание: ⊕ – возможная рациональная область массового применения;  
 △ – возможно ограниченное использование;  
 ▽ – применение в ряде случаев нецелесообразно по техническим (▽<sub>Т</sub>) или экономическим (▽<sub>3</sub>) причинам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агурин А.П., Пестеров Н.А., Реднель Е.М. Изготовление и монтаж металлических покрытий тепловой изоляции. — М.: Стройиздат, 1982.

2. Ананьев А.И. и др. В защиту отечественного строительства и промышленности теплоизоляционных материалов//Строительный эксперт, № 11, 12, 2001.

3. Арендарский Е.Б. Долговечность жилых зданий/Пер. с польск. М.В. Предтеченского. — М.: Стройиздат, 1983.

4. Артемьев В.М. Не упустить фортуны. Оборудование для модернизации минераловатной технологии//Строительство и бизнес, № 1, 2002.

5. Ахтямов Я.А., Бобров Б.С., Геммерлинг Г.В., Эпельбаум М.Б. Обжиг вермикулита. — М.: Издательство литературы по строительству, 1972.

6. Бобров Ю.Л. Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов. — М.: Стройиздат, 1987.

7. Бобров Ю.Л., Гранев В.В. Теплоизоляционные минераловатные материалы повышенной прочности в современном строительстве: Учеб. пособие. — М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1980.

8. Бобров Ю.Л., Гранев В.В., Ягунова Л.Г. Легкие ограждающие конструкции промышленных зданий с минераловатной тепловой изоляцией: Учеб. пособие. — М.: ЦМИПКС, 1988.

9. Бобров Ю.Л., Гранев В.В., Никифорова О.П. Современные легкие ограждающие конструкции с новыми минераловатными теплоизоляторами: Учеб. пособие. — М.: ЦМИПКС, 1980.

10. Бобров Ю.Л. Новые теплоизоляционные материалы в сельском строительстве. — М.: Стройиздат, 1978.

11. Бобров Ю.Л., Гранев В.В., Карбачинский М.М., Слезов А.И. Устройство для определения долговечности образцов строительных теплоизоляционных материалов. Авторское свидетельство на изобретение №849052. — Б. И., 1981, № 27.

12. Бобров Ю.Л., Гранев В.В. Эдудьявичюс К.К. и др. Устройство для испытания образцов теплоизоляционных материалов на влагостойкость. Авторское свидетельство на изобретение №1078303. — Б.И., 1984, № 9.

13. Воронков С.Т., Исэров Д.З. Тепловая изоляция энергетических установок. — М., 1982.

14. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов: Учебник. — М.: Стройиздат, 1990.
15. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных акустических материалов и изделий. — М.: Высшая школа, 1989.
16. Горчаков Г.И. Специальные строительные материалы для теплоэнергетического строительства. — М.: Издательство литературы по производству, 1972.
17. Горяйнов К.Э., Бобров Ю.Л. Способ определения долговечности теплоизоляционных строительных материалов. Авторское свидетельство на изобретение №224870 — Б.И., 1968, № 26.
18. Горяйнов К.Э., Бобров Ю.Л. Устройство для определения долговечности теплоизоляционных строительных материалов. Авторское свидетельство на изобретение №224870 — Б.И., 1968, № 26.
19. Горяйнов К.Э., Биевецкий Э.А. и др. Способ изготовления теплоизоляционных материалов. Авторское свидетельство на изобретение №234926 — Б.И., 1969, № 4.
20. Горяйнов К.Э., Бобров Ю.Л. Влияние химического состава и диаметра волокна на долговечность минеральной ваты//Строительные материалы, № 9, 1974.
21. Горяйнов К.Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. — М.: Стройиздат, 1982.
22. Горяйнов К.Э., Коровникова В.В. Технология производства полимерных и теплоизоляционных изделий: Учебник. — М.: Высшая школа, 1985.
23. Гранев В.В., Бобров Ю.Л. Прогнозирование долговечности минераловатных утеплителей — ЦМИПКС при МИСИ им. В.В. Куйбышева. — М., 1984.
24. Грушман Р.П. Что нужно знать теплоизолировщику. — М.: Издательство литературы по строительству, 1971.
25. Гадзаев Н.С. Изолировщик. — М.: Стройиздат, 1985.
26. Гнип И.Я., Кершулис В.И. Прогнозируемая оценка долговечности минераловатных плит на лингосульфатном связующем//Строительные материалы, 2000.
27. Гнип И.Я., Кершулис В.И., Веялис С.А. Теплофизические свойства эковаты//Строительные материалы, № 11, 2000.
28. Денисов А.С., Швыряев В.А. Теплоизоляционные жаростойкие торкрет-массы на основе вермикулита. — М.: Стройиздат, 1973.
29. Долговечность минераловатных плит на синтетических связующих. Обзор ВНИИЭСМ. — М., 1975.
30. Иванченко В. Вермикулит: защищает, греет, изолирует//Стройинформ, № 38, 2001.
31. Каменецкий С.П. Перлиты (Технология, свойства, применение). — М.: Госстройиздат, 1963.
32. Китайцев В.А. Технология теплоизоляционных материалов. — М.: Издательство литературы по строительству, 1970.
33. Кишонас А.П., Гнип А.П. Оценка влагостойкости минераловатных плит повышенной жесткости//Строительные материалы, 1980, № 3, с. 16—17.
34. Крутов П.И., Склизов Н.И., Терновский А.Д. Строительные материалы из местного сырья в сельском строительстве. — М.: Стройиздат, 1972.
35. Лаврентьев О., Лукамевич В. Негорючий картон//Строительство и бизнес, № 1 (17), январь 2002.
36. Леонченко С.В., Овчаренко Е.Г. Изделия из тонкого базальтового волокна по новой технологии//ГиТеК, № 7, 2001.
37. Майзель И.Л. Трубопроводы с пенополиуретановой изоляцией для тепловых сетей бесканальной прокладки//Энергосбережение, № 1, 2001.
38. Майзель И.Л. Трубы, сберегающие тепло//Строительство и бизнес, № 1(17), январь 2002.
39. Майзель И.Л., Сандлер В.Г. Технология теплоизоляционных материалов. — М.: Высшая школа, 1988.
40. Мальцев В.В. Экологически чистые и биостойкие материалы для малоэтажного деревянного домостроения XXI века. Промышленность строительных материалов. Сер. 6. Промышленность полимерных, мягких, кровельных и теплоизоляционных материалов. Аналитический обзор, 2001 г. Вып. 1—2, 1—54.
41. Матвеев Е.П., Мешечек В.В. Технические решения по усилению и теплозащите конструкций жилых и общественных зданий. — М.: Издательский центр «Старая Басманная», 1998.
42. Матросов Ю.А., Бутовский И. Региональное нормирование энергосбережения в зданиях и «Теплые дома». «Строитель» — справочник специалиста стройиндустрии. — М.: Стройинформ, 2001.
43. Матросов Ю.А., Захаров И.Б. Новые нормы Московской области по теплозащите зданий//Промышленное и гражданское строительство, № 7, 2001.
44. Маты теплоизоляционные из минеральной ваты «ТЕХМАТ» в конструкциях тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. ТР 12222-02.2001. АО «Теплопроект». — М., 2001.
45. Матюхин А.Н., Щепкина Г.Т., Неелов В.А. Теплоизоляционные и гидроизоляционные работы. — М.: Высшая школа, 1991.
46. Минераловатные цилиндры ЗАО «Минеральная вата» в конструкциях тепловой изоляции трубопроводов. ТР 12222-01.1999. АО «Теплопроект». — М., 2002.
47. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. — М.: Энергия, 1977.



48. *Мишин В.М., Соков В.Н.* Теоретические и технологические принципы создания теплоизоляционных материалов нового поколения в гидросиловом поле. — М.: Молодая Гвардия, 2000.
49. Оборудование фирмы «Куртц ГмБх» для производства пенополистирола//Строительные материалы, № 12, 2001.
50. *Овчаренко Е.Г.* Тенденции в развитии производства утеплителей в России//ГиТеК, № 1(5), № 2(6), 2001.
51. *Овчаренко Е.Г.* Производство утеплителей в России//Стройинформ, 11/2001, 13/2001.
52. *Овчаренко Е.Г., Артемьев В.М., Шойхет Б.М., Жолудов В.С.* Тепловая изоляция и энергосбережение//Энергосбережение, № 2, 1999.
53. *Овчаренко Е.Г., Петров-Денисов В.Г., Артемьев В.М.* Основные направления развития производства эффективных теплоизоляционных материалов//Строительные материалы, № 6, 1966.
54. *Овчаренко Е.Г., Пахомов Н.А.* Вклад АО «Теплопроект» в создание новых теплоизоляционных материалов//Монтажные и специальные работы в строительстве, № 7, 2000.
55. *Овчаренко Е.Г.* Конкурентоспособны ли российские утеплители//Строительная газета, № 21(9564), 26.05.2000.
56. *Овчаренко Е.Г., Артемьев В.М.* О приоритетных направлениях научно-технического развития в теплотехническом строительстве//Монтажные и строительные работы в строительстве, № 10, 1998.
57. *Овчаренко Е.Г.* Утеплители на основе вспученного перлита в строительстве//Стройка, приложение к справочнику «Строитель», № 2, 2002.
58. *Овчаренко Е.Г., Мелоян Г.Б.* Вспученный перлит в строительстве//ГиТеК, № 3, 2000.
59. *Оганесян Р.Б. и др.* Способ изготовления теплоизоляционных изделий из ячеистой керамики. Авторское свидетельство на изобретение №370190 — Б.И., 1973, № 11.
60. Пенопласты для тепловой изоляции систем водоснабжения и отопления зданий, а также технологических трубопроводов//Стройинформ, № 38, 2001.
61. Перспективные технологии и оборудование для производства пенобетона//Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 10, 2001.
62. *Полиньковская А.И., Сергеев Н.И., Чернова О.А.* Вспученный перлит — заполнитель легких бетонов. — М.: Издательство литературы по строительству, 1971.
63. *Пономарев В.Б., Дудников И.В., Демин В.С., Моженин В.И.* Техничко-экономический обзор работы предприятий по производ-

ству теплоизоляционных волокнистых материалов (минеральная вата, базальтовое и стекляннное волокно) за 1999 год. — М., Российский союз строителей, АО «Теплопроект», НПК «Базальт-Композит», 2000.

64. *Пономарев В.Б.* Быть или не быть. Супертонкое базальтовое волокно в строительстве//Строительство и бизнес, № 1(17) 2002.
65. *Попова В.В.* Материалы для теплоизоляционных и гидроизоляционных работ. — М.: Высшая школа, 1988.
66. *Правдин Б.Н.* Индустриальные способы изоляции теплопроводов. — Л.: Энергия, 1979.
67. Рекомендации по применению минераловатных плит повышенной жесткости в покрытиях производственных зданий со стальными профилированными настилами. ЦНИИПромздание. — М., 1981.
68. *Рябов К.Д.* Справочник молодого теплоизолировщика и гидроизолировщика. — М.: Высшая школа, 1988.
69. *Соболев Л.А., Герасименя В.П.* Пеноизол. Опыт внедрения и перспективы развития//Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 3, 2001.
70. Справочник строителя. Тепловая изоляция/Под ред. Г.Ф. Кузнецова. — М.: Стройиздат, 1985.
71. *Сухарев М.Ф.* Производство теплоизоляционных материалов и изделий. — М.: Высшая школа, 1973.
72. *Текунов Ю.Н., Блох Э.И., Пушкарский А.С., Растяпин В.В., Богданова Н.Н.* Теплоизоляция промышленного оборудования и трубопроводов. — М.: Стройиздат, 1985.
73. Теплоизоляционные изделия «URSA» в ограждающих конструкциях зданий. Рекомендации по применению с альбомом технических решений. ТР 12207-ТИ. 2000. АО «Теплопроект». — М., 2000.
74. Теплоизоляционные изделия «URSA» в конструкциях тепловой изоляции промышленного оборудования. Рекомендации по применению с альбомом технических решений. ТР 12220-ТИ. 2000. АО «Теплопроект». — М., 2000.
75. Теплоизоляционные изделия «URSA» в конструкциях тепловой изоляции трубопроводов. Рекомендации по применению с альбомом технических решений. ТР 12207-ТИ. 2000. АО «Теплопроект». — М., 2000.
76. Теплоизоляционные материалы. Проблемы сравнительного анализа//Профессиональное строительство, май — июль 2001.
77. Технические решения утепления наружных ограждений домов первых массовых серий. — М.: Минземстрой, 1998.

78. *Тобольский Г.Ф., Бобров Ю.Л.* Минераловатные утеплители и их применение в условиях сурового климата. —Л.: Стройиздат, 1991.

79. *Тобольский Г.Ф., Бобров Ю.Л., Лялин В.П.* Способ изготовления минераловатных прошивных матов гофрированной структуры. Авторское свидетельство на изобретение №992500 — Б.И., 1983, № 4.

80. *Ушков Ф.В.* Методика исследования долговечности при одностороннем попеременном замораживании и оттаивании в воздушной среде. Новые методы и приборы для определения качества изделий и конструкций и исследований строительных материалов. — Киев, 1975.

81. *Факторович Л.М.* Тепловая изоляция. —Л.: Недра, 1966.

82. *Хижняков С.В.* Практические расчеты тепловой изоляции. — М.: Энергия, 1976.

83. *Хромец Ю.Н.* Современные конструкции промышленных зданий. —М.: 1982.

84. *Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Липовских В.М., Кашинский В.И.* Тепловая изоляция промышленных трубопроводов//Энергоснабжение, № 3, 2000.

85. *Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В.* Эффективные утеплители в ограждающих конструкциях зданий //Энергосбережение, № 3, 2000.

86. *Шойхет Б.М., Овчаренко Е.Г., Ставрицкая Л.В.* О технических требованиях к волокнистым теплоизоляционным материалам в строительстве//Энергосбережение, № 1, 2002.

87. *Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В.* Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей в каналах//Энергоснабжение, № 1, 2002.

88. *Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Бобкова Н.И.* Тепловая изоляция металлических стволов дымовых труб//Энергосбережение, № 15, 2001.

89. *Шойхет Б.М., Овчаренко Е.Г., Мелех А.С.* Региональные нормы по тепловой изоляции оборудования и трубопроводов//Энергосбережение, № 6, 2001.

90. *Шойхет Б.М., Овчаренко Е.Г., Мелех А.С.* Новые нормы для регионов//Строительство и бизнес, № 1(17), 2002.

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ

Учебное пособие для среднего  
профессионально-  
технического образования

Редактор *Ю.Л. Бобров, Е.Г. Овчаренко*  
*Б.М. Шойхет, Е.Ю. Петухова*  
Корректор *Л.С. Куликова*  
Компьютерная верстка *О.Г. Горюнова*

ЛР № 070824 от 21.01.93

Сдано в набор 25.04.2003. Подписано в печать 15.09.2003.  
Формат 60×90/16. Печать офсетная.  
Бумага типографская №2. Гарнитура *NewtonCTT*.  
Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 17,1.  
Тираж 5000 экз. Цена договорная. Заказ № 1614.

Издательский Дом «ИНФРА-М»  
127214, Москва, Дмитровское ш., 107.  
Тел.: (095) 485-71-77  
Факс: (095) 485-53-18. Робофакс: (095) 485-54-44  
E-mail: books@infra-m.ru  
<http://www.infra-m.ru>

ОАО «Тверской полиграфический комбинат»  
170024, г. Тверь пр-т Ленина, 5.

