

## Самый выгодный теплоизоляционный материал

Учитывая невозможность достижения высокого качества работ при практической теплоизоляции зданий, используя наружный пирог из 9-12 различных, часто не совместимых между собой, химических материалов, из-за:

- суровых и непредсказуемых климатических условий в стране;
  - низкой квалификации рабочей силы;
  - недостаточного уровня контроля, особенно инструментального со стороны проектных организаций, производственных предприятий, контролируемых органов;
  - не редкой замены материалов на более низкого качества
- взоры заказчиков, проектантов, строителей вновь обращены на самый эффективный теплоизоляционный материал – пенополиуретан.

Нормативная документация:

1. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»,
2. ТСН 23-349-2003 Самарской области «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по энергопотреблению и теплозащите»,
3. Пособие к ТСН 23-349-2003 «Расчёт и проектирование ограждающих конструкций энергоэффективных зданий»,

4. Альбом технических решений строительных ограждающих конструкций с применением пенополиуретана в качестве утеплителя. Пособие по проектированию

позволяет широко использовать различные марки пенополиуретанов в строительстве. Одним из значительных плюсов использования пенополиуретанов возможность проводить работы по теплоизоляции зданий круглый год (а это ведь огромная экономическая выгода), использовать незначительное количество рабочего персонала, иметь незначительное количество операций (большой выигрыш в трудоемкости), не использовать в качестве пароизоляции полиэтиленовую пленку, гарантия на которую не выше 6 лет (!).

Общие сведения о пенополиуретанах, которые должен знать каждый строитель, изложены ниже.

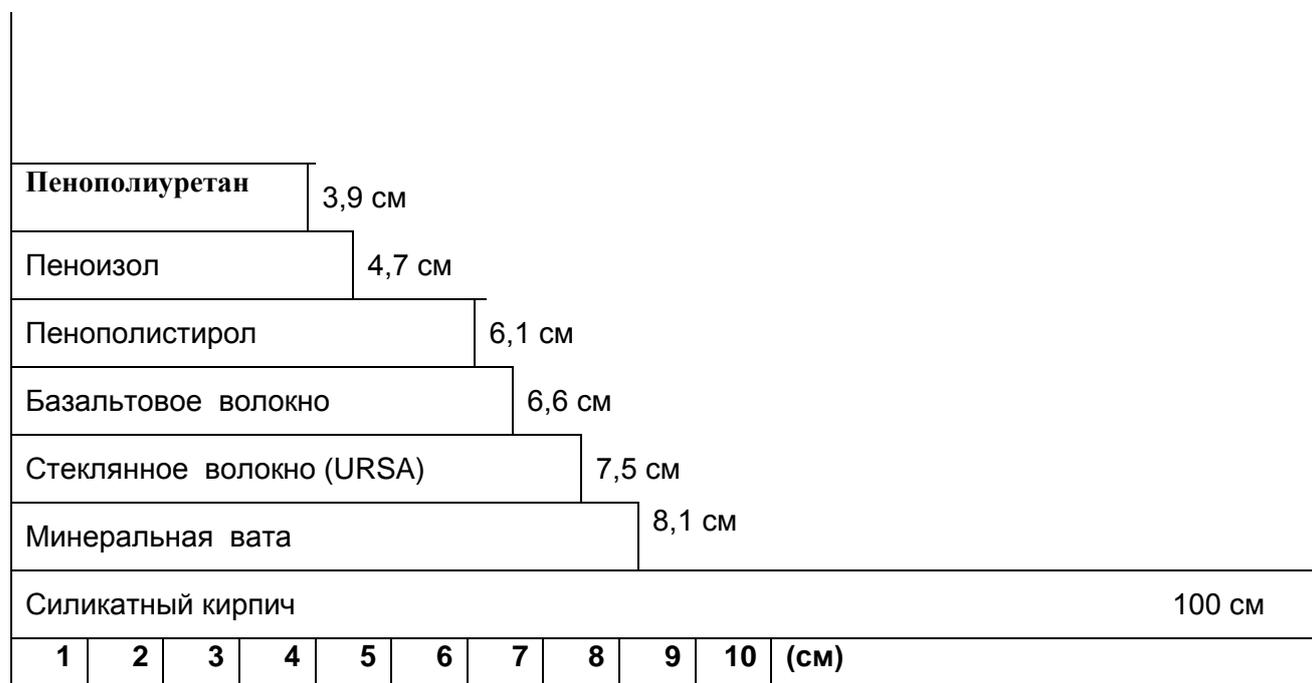
В настоящее время пенополиуретаны занимают одно из первых мест среди полимерных теплоизоляционных материалов (пенопластов), что объясняется их хорошими физико-механическими и теплоизоляционными свойствами, стойкостью к атмосферным и агрессивным воздействиям, простотой технологии, возможностью изготовления на месте производства работ.

Жесткие пенополиуретаны, применяемые в строительстве, отличаются высокими теплоизоляционными свойствами, широким интервалом рабочих температур, высокой удельной прочностью, малой водопроницаемостью, широкими технологическими возможностями получения, стойкостью к коррозии, воздействию атмосферных факторов, химических сред, радиации.

Для сравнения: керамзитовый гравий имеет коэффициент теплопроводности от 0,12 до 0,14 Вт/м °С, пеностекло или газостекло – 0,84 Вт/м °С, ваты минераловатные прошивные – 0,056 Вт/м °С, пенополистирол – 0,038-

0,042 Вт/м °С, а пенополиуретаны от 0,019 до 0,035 Вт/м °С. Таким образом, пенополиуретан (в настоящее время существует более 100 марок плотностью от 40 до 250 кг/м<sup>3</sup>) является самым «тёплым» из известных теплоизоляционных материалов, так как имеет самый низкий коэффициент теплопроводности.

**Сравнительные характеристики толщин теплоизоляционных материалов соответствующих 100 см кирпичной кладки.**



Так, по теплоизоляционным свойствам слой пенополиуретана определённой марки толщиной 25 мм эквивалентен слою кирпича толщиной 0,52 м, гранита толщиной 2,5 м.

Хорошо известно, что максимальная утечка тепла из зданий происходит через стены и крыши. Именно эти элементы целесообразно изолировать с помощью напыляемого пенополиуретана. Жёсткий пенополиуретан чрезвычайно эффективен в качестве материала для утепления крыш. Кровли старых и вновь сооружаемых зданий изолируются напылением вспенивающейся полиуретановой композиции. Напыление жёсткого пенополиуретана производится непосредственно на месте применения, слой пены схватывается практически мгновенно. При этом вся поверхность крыш оказывается закрытой сплошным водонепроницаемым слоем жесткого пеноматериала. Этот метод широко используется в странах Западной Европы, США, Саудовской Аравии, Кувейте, Канаде, Китае. Поскольку пенополиуретаны обладают недостаточной светостойкостью, пенопластовые кровельные покрытия предохраняют от воздействия ультрафиолетового излучения. Для этого пенопласт сверху полностью закрывают гибкой плёнкой, листовым металлом, цементно-песчаным раствором или, в крайнем случае, наносят лакокрасочное покрытие.

С помощью пенополиуретана удастся решить важную проблему ремонта старых зданий. При колодцевой кладке производится заливка жидкой вспенивающейся композиции в пространство между кирпичными стенами;

пенопласт плотно соединяет два слоя кладки и дополнительно обеспечивает теплоизоляцию зданий. Применение пенополиуретана значительно сокращает время и снижает стоимость ремонта обветшалых зданий. Этот метод также используется для упрочнения и герметизации стен многоквартирных жилых и общественных зданий. В ряде случаев полости пустотелых стен заполняют измельченными отходами пенопластов вместе с заливкой жидкой композиции.

Важная задача в строительстве – герметизация стыков между строительными блоками, так как стыки являются наиболее уязвимым местом в зданиях. Пенополиуретан зарекомендовал себя как прекрасный материал для герметизации стыков, поскольку он обладает атмосферо- и влагостойкостью, имеет отличные тепло- и звукоизоляционные свойства, высокую адгезию к бетону и другим строительным материалам, хорошую устойчивость к многократным сезонным и суточным температурным деформациям стыков. Результаты ускоренных испытаний подтвердили эксплуатационную долговечность таких соединений.

Хотя жёсткие пенополиуретаны применяют в области строительства недавно, уже сегодня имеются надёжные данные о поведении этих материалов в течение 35-60 лет эксплуатации. Кроме этих данных, есть результаты лабораторных испытаний на ускоренное старение, которые дополняют и подтверждают данные натуральных испытаний. Лабораторные испытания показали, что у пенополиуретанов низкая стойкость к действию минеральных кислот и к большинству органических растворителей. В то же время пенополиуретаны хорошо переносят контакт с водой и с различными нефтепродуктами.

Конструкции из пенополиуретана не теряют своих теплоизоляционных и прочностных свойств в процессе эксплуатации при температурах от минус 80 °С до плюс 100 °С. Некоторые марки пенополиуретана выдерживают без ухудшения эксплуатационных свойств повышенную температуру до 150 °С, а другие марки – пониженную до минус 250 °С.

В научно-исследовательском институте теплоизоляционных материалов (Мюнхен, ФРГ) подвергали испытаниям три кровельные конструкции, утеплённые жёстким пенополиуретаном (слой утеплителя составлял на одной конструкции 60 мм и 30 мм на двух других, кажущаяся плотность пенополиуретана 30-35 кг/куб.м). Как следует из данных этих испытаний, после 10-летней эксплуатации ни теплопроводность, ни влагосодержание пенопластов практически не увеличились. Таким образом, о жёстком пенополиуретане можно сказать, что он в буквальном смысле выдержал испытание временем.

В настоящее время на территории нашей страны применяется в строительстве более 30 марок жёстких пенополиуретанов. Они могут применяться самостоятельно или в сочетании друг с другом для следующих целей: тепло-, звукоизоляция гражданских и промышленных сооружений, хладоизоляция трюмов и холодильного оборудования, повышение плавучести и сохранности лесоматериалов на сплаве, тепло- и гидроизоляция нефтегазопроводов.

Перед другими видами теплоизоляции напыляемые пенопласты имеют ряд существенных преимуществ, основными из которых являются: выполнение

пенополиуретаном одновременно функций утеплителя, пароизоляции, гидроизоляции и защиты металлов от коррозии, адгезия пенополиуретанов к любым поверхностям, быстрота нанесения пенопласта на ограждающие конструкции больших площадей, в том числе криволинейного очертания, и отсутствие монтажных стыков.

Химическая стойкость пенополиуретанов выше стойкости других пенопластов. Пары химических веществ до предела допустимой концентрации не разрушают их. Пенополиуретаны стойки к следующим агрессивным средам: бензину, бензолу, галогеноуглеводородам, разбавленным кислотам, маслам, пластификаторам, спиртам; ограниченно стойки к кетонам, эфирам, концентрированным кислотам.

Такие свойства пенополиуретанов расширяют возможности их использования. Пенополиуретаны, нанесенные на металлическую поверхность, защищают её от коррозии как слоем собственного материала, так и интегральными плёнками, образующимися в процессе вспенивания на поверхностях пенополиуретана со стороны внешней среды. Эффективность защиты определяется используемой маркой пенополиуретана и степенью повреждения слоя покрытия.

Слой пенополиуретана выполняет функции антикоррозионного покрытия при величине адгезии к бетону, дереву, стеклу, металлу и др.  $2 \div 3$  кг/см<sup>2</sup>. Таким образом, при теплоизоляции пенополиуретаном отпадает необходимость в крепежных материалах и сохраняется однородным изоляционный слой.

Водопоглощение пенополиуретанов не превышает 1-3 % по объему за 24 часа и зависит от особенности используемой рецептуры. С увеличением плотности снижается водопоглощение. Используя гидрофобизирующие добавки в рецептуру, можно уменьшить водопоглощение в 4 раза.

Огнестойкость и термостойкость. Применяемые компанией «Ритм» марки пенополиуретанов принадлежат к самозатухающим (С), трудновоспламеняемым (ТВ), трудносгораемым (ТС) пенополиуретанам. Практически повышение огнестойкости пенополиуретанов, как и других пенопластов, обеспечивается в основном двумя способами: химической модификацией рецептуры и введением наполнителей-антипиренов. В ряде случаев целесообразно наполненный более плотный пенополиуретан наносить в виде тонкого слоя в качестве покрытия на поверхность ранее вспененного пенополиуретана с меньшей плотностью. Такие двуслойные покрытия можно использовать в тех отраслях народного хозяйства, где к покрытиям предъявляют повышенные требования в отношении огнестойкости. Горючесть жестких пенополиуретанов снижается с ростом плотности и сохраняется постоянной при плотности более 70 кг/м<sup>3</sup>. В строительстве применяются марки пенополиуретанов, относящиеся к группе горючести Г4, Г3 (по воспламеняемости В1) и к группе горючести Г2.

Старение. Эксплуатационный срок различных материалов определяется стойкостью их к старению, т.е. способностью сохранить свои свойства при эксплуатации на уровне требований технических условий. Климатические испытания пенополиуретанов проводились в различных климатических районах: умеренно холодном (г. Владимир), сухом жарком (г. Ташкент), очень

холодном (Антарктида, станция «Восток»), жарком влажном (в районе экватора). В результате испытаний установлено, что изменение контролируемых характеристик пенополиуретана практически невелико и сохранилось на допустимом уровне. Исследования по прогнозированию коэффициента теплопроводности пенополиуретана за 100 лет показали, что верхний предел применяемости лимитируется в основном завершением газообмена в ячейках, т.е. диффузией воздуха через тонкие слои ячеек. Изменение коэффициента теплопроводности составляет за этот период около 30 %, т.е. в среднем 0,3 % за каждый год эксплуатации. Этот показатель значительно ниже у пенополиуретана, чем у всех существующих теплоизоляционных материалов, применяемых в строительстве. Таким образом, пенополиуретан дольше других материалов сохраняет свои теплоизоляционные свойства, что весьма важно в строительстве.

Длительное ультрафиолетовое облучение незащищенных пенополиуретанов в стыке, соответствующее 60-летнему периоду эксплуатации, не оказывает заметного влияния на их физико-механические свойства на глубине более 10 мм от поверхности. При длительном воздействии переменных температур и циклической деформации, соответствующих 40-летнему периоду эксплуатации, пенополиуретаны не крошатся, образования трещин и других нарушений макроструктуры не происходит.

Звуковая способность пенополиуретана – звукопоглощение – определяется степенью поглощения звуковой энергии частицами воздуха внутри ячеек, а также жесткостью ячеистого каркаса или частотой возбужденных колебаний. В этом отношении лучшими свойствами обладают пенополиуретаны малой плотности. Экспериментально установлено, что наибольшее шумопоглощение обеспечивают полуэластичные пенополиуретаны.

Важнейшей особенностью пенополиуретанов является их радиационная стойкость, что не свойственно другим теплоизоляционным материалам. Главным параметром, определяющим диэлектрическую проницаемость в области температур до 100 °С, является плотность пенополиуретана.

Основную группу в мировом производстве пенопластов составляют пенополиуретаны (50 %), пенополистирол и пенополивинилхлорид занимают второе и третье место. В нашей стране пенополиуретан стал относительно широко применяться в строительстве только в начале 90-х годов прошлого века. Отсутствие нормативной базы тормозило широкое применение пенополиуретанов в строительстве. Стагнация в разработке нормативных документов за последние 15 лет объясняется изменением социально-экономической формации в стране, что значительно изменило скорость технического процесса. Сегодняшняя наша задача – наверстать упущенное.

Компания «Ритм» с 1988 года использует пенополиуретаны в строительстве. Она производит теплоизоляционные работы по всей России и первая в регионе в 1996 г. начала выполнять работы по теплоизоляции многоэтажных зданий. Применяемые компанией пенополиуретаны имеют санитарно-эпидемиологическое заключение Государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации, что позволяет применять

эти материалы «для тепловой изоляции зданий жилищного и промышленного назначения».

Теплотехнические характеристики различных марок пенополиуретана – коэффициенты теплопроводности, теплоусвоения и паропроницаемости определены в лаборатории теплотехнических испытаний Испытательного центра (Аттестат аккредитации № ГОСТ Р RU. 9001.6.2.0039).

Результаты теплотехнических испытаний некоторых марок пенополиуретана приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Марка материала (условная)	Плотность материала $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/м <sup>0</sup> С		Коэффициент паропроницаемости $\mu$ , мг/м <sup>2</sup> ч Па	Расчетный коэффициент теплоусвоения $S$ , Вт/м <sup>2</sup> 0С
			в сухом состоянии	при условиях эксплуатац. А		
1.	Ритм И 101-2	62,7	0,024	0,026	0,0175	0,5
2.	Ритм И 101-3	65,3	0,025	0,027	0,0147	0,5
3.	Ритм И 105 МГ-6-3	388,0	0,035	0,038	0,0111	0,5
4.	Ритм 110-1	39,1	0,025	0,03	0,0474	0,4
5.	Ритм 110-2	73,5	0,027	0,032	0,0147	0,5
6.	Ритм И 123-2	98,5	0,025	0,027	0,0162	0,5
7.	Ритм И 123-3	99,4	0,026	0,028	0,0139	0,5

Примечание: Указаны марки пенополиуретана с учетом защитного покрытия.

Теплофизическое исследование прошли более 15 марок пенополиуретанов, имеющие коэффициенты теплопроводности в сухом состоянии от 0,023 до 0,025 Вт/м<sup>0</sup>С с плотностью от 50 до 80 кг/ м<sup>3</sup>.

Имеются марки пенополиуретанов, имеющие коэффициенты теплопроводности при плотности 49-52 кг/м<sup>3</sup> порядка 0,020 кг/м<sup>3</sup>. Для конструктивных решений с использованием заливочных систем надо применять пенополиуретаны, имеющие время от 30 до 60 секунд (зависит от объема заливки) и время гелеобразования порядка 90-220 секунд.

Наличие тонких пленок, образующихся на поверхности каждого слоя пенополиуретана при его напылении, приводит к существенному снижению коэффициента паропроницаемости. Поэтому при внутреннем утеплении

наружных стен, как показали результаты расчетов, не требуется установка дополнительной пароизоляции.

С целью обеспечения высокой степени сцепления для напыляемого пенополиуретанового покрытия используются модифицированные цементно-песчаный и известково-песчаные растворы. При этом прочность сцепления (адгезия) раствора к применяемым маркам пенополиуретана составляет в среднем 1,54 МПа. Адгезия напыляемого покрытия из пенополиуретана к кирпичу, бетону, дереву, металлу, рубероиду составляет не менее 1-3 кг/см<sup>2</sup>.

При использовании мягких материалов плотностью 11-35 кг/м<sup>3</sup> при теплоизоляции здания изнутри не представляется возможным повесить на стену различные домашние предметы небольшого веса, используя крепежные элементы. При теплоизоляции напыляемым пенополиуретаном плотностью 60 - 75 кг/ м<sup>3</sup> это возможно. Испытания показали, что один крепежный элемент (шуруп) можно нагружать весом до 1 кг. При необходимости повесить тяжелые предметы нужно иметь ввиду незначительную толщину пенополиуретанового покрытия (обычно 20-35 мм). При использовании других теплоизоляционных материалов толщина покрытия значительно увеличивается (из-за разницы в коэффициентах теплопроводности), что не всегда позволяет повесить тяжелые предметы.

Хорошие результаты даёт композиционный материал: пенополиуретан совместно с пеноизолом, или использование пенополиуретана с адгезированной на нем алюминиевой фольгой (Таблица 2).

Таблица 2

№ марки (условное)	Плотность материала $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/м °С	Коэффициент паропроницаемости $\mu$ , мг/м <sup>2</sup> ч Па
Пенополиуретан с пеноизолом	83,0	0,033	0,061
Пенополиуретан с алюминиевой фольгой	без воздушного зазора		
	31,0	0,0250	
	48,0	0,0251	
	с воздушным зазором		
	31,0	0,027	
	48,0	0,026	

Исследования, проведенные Научно-исследовательским институтом строительной физики (НИИСФ), показали перспективность утепления зданий изнутри определенными марками пенополиуретанов расчетной толщины. НИИСФ рекомендует проектным организациям воспользоваться готовыми решениями, опубликованными в Пособии к ТСН 23-349-2003 Самарской области «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий» и в «Отчете о научно-технической работе» НИИСФ.

Особенно необходимо обратить внимание на «Техническое заключение» по теме «Теплотехническое обследование наружных стен жилых домов, утепленных пенополиуретаном» Самарской государственной архитектурно-строительной академии от 20 апреля 2004 г. Объектом исследований явились

наружные стены зданий, построенных с 1997 г., утепленных компанией «Ритм» с применением определенных марок пенополиуретана в качестве утеплителя. По результатам проведенного теплотехнического обследования жилых домов, утепленных пенополиуретаном, сделаны следующие выводы:

1. Сопротивления теплопередаче наружных стен имеют значения от 2,15 Вт/м<sup>2</sup>°С до 2,40 Вт/м<sup>2</sup>°С, т.е. превышают нормативное значение сопротивления теплопередаче по 1 этапу энергосбережения, равную  $R_{o}^{np} = 1,8$  Вт/м<sup>2</sup>°С.

2. На поверхностях наружных стен все значения температур значительно выше точки росы. Следовательно, конденсация водяного пара невозможна.

3. Проведенное обследование показало, что на глади стены полученные экспериментальные значения сопротивления теплопередаче оказались не ниже расчетных, т.е. теплозащитные характеристики пенополиуретана сохранились практически неизменными.

4. Проведенный расчет влажностного режима различных вариантов исполнения наружных стен показал отсутствие накопления влаги как за годовой период эксплуатации, так и за период с отрицательными температурами наружного воздуха.

Визуальный осмотр наружных стен во всех обследуемых помещениях не выявил никаких признаков промерзания стен и выпадения конденсата.

По результатам проведенных исследований в «Технических заключениях» даны следующие рекомендации:

1. Проведенное исследование теплофизических характеристик наружных стен с внутренним утеплением определенной маркой напыляемого пенополиуретана показало их неизменность за прошедший период эксплуатации зданий (с 1997 г.). Поэтому примененный вариант утепления может быть рекомендован для широкого применения в строительстве.

2. В целях повышения приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен следует утеплить оконные откосы пенополиуретаном.

Применение исследованных марок пенополиуретана в строительстве решит проблему строительства энергоэффективных зданий, позволит проводить работы по теплоизоляции круглый год, обеспечит надежный контроль работ и при этом влияние «человеческого фактора» снизится до минимума.

От этого будет зависеть долговечность наружных стен, качество жилища и реальная экономия энергетических ресурсов в строительстве и при эксплуатации зданий.

Председатель комиссии по энергосбережению  
Самарского отделения Российского общества  
инженеров строительства, д.т.н.

Л. Д. Евсеев

