

УДК.536.212

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИДКОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

Таусенев Е.М., Кох К.В., Глущенко Г.А., Свистула А.Е.

Алтайский государственный технический университет, г. Барнаул

Целью исследования является оценка теплоизолирующей способности жидкого теплоизоляционного полимерного покрытия (ЖТПП). Данный тип теплоизоляции в последнее время широко рекламируется, производится и продается в России под марками «Корунд», «Астратек», «Альфатек», «Броня», «RE-THERM» и др.

Авторы данной статьи занимаются научными исследованиями в области тепловых двигателей и были намерены в определенных целях использовать теплоизоляцию. Стояла проблема выбора теплоизоляционного материала. Получены результаты, которые могут быть полезны в сфере современного малоэтажного домостроения.

Обзор данных о современных теплоизоляционных материалах позволил сделать предварительный выбор в пользу ЖТПП. Этот материал, согласно данных большинства производителей, имеет наименьший коэффициент теплопроводности λ из всех существующих. Однако, в ходе консультаций специалистами, занимающимися энергоаудитом и теплоизоляцией зданий и сооружений, было высказано мнение о том, что данный тип теплоизоляции не обеспечивает заявленной эффективности, т. е. фактический коэффициент теплопроводности λ не соответствует заявленному значению.

Согласно данных производителя, рассматриваемый далее образец ЖТПП имеет коэффициент λ равный $0,023 \pm 10 \%$ Вт/(м °С) при 20 ± 5 °С, определенный по ГОСТ 7076-99, имеет температуру эксплуатации в рабочем режиме до + 200 °С, хорошо подходит для поверхностей любой формы и составов, эксплуатируемых в атмосферных условиях, и также обладает другими положительными качествами.

Авторы статьи намеренно не называют производителя исследованного материала и не ссылаются на его документацию, а также не ссылаются на материалы других производителей с целью избежать идентификации производителя исследованного образца. Образец материала был приобретен у официального представителя фирмы-производителя, хранился и использовался в соответствии с рекомендациями производителя.

Материал данного вида, независимо от его производителя, позиционируется на рынке как теплоизоляция последнего поколения с широкой областью применения; благодаря своим уникальным свойствам. Согласно данным большинства производителей, материал оказывает ощутимый эффект энергосбережения уже при толщине слоя 10^{-3} м.

Состав рассматриваемого образца ЖТПП следующий: полимерная дисперсия (акриловый полимер на водной основе), функциональные наполнители, ингибирующие, пигментирующие, стабилизирующие, модифицирующие добавки. Количество компонентов на упаковке не указывается.

Анализ информации интернет-сайтов продавцов или производителей вышеуказанных марок жидкой теплоизоляции показывает, что в качестве основного компонента (функционального наполнителя) используют керамические силикатные тонкостенные микросферы в количестве 75 - 85 %. Остальной объем занимают

вспомогательные компоненты материала. Наличие микросфер значительно минимизирует теплообмен в связи с их низкой теплопроводностью.

Керамические силикатные тонкостенные вакуумированные микросферы являются продуктом сжигания углей на энергетическом объекте, размеры таких микросфер – до $5 \cdot 10^{-4}$ м, стенки микросфер – сплошные, непористые. Газовая фаза, законсервированная внутри микросфер, состоит в основном из азота, кислорода и оксида углерода и является продуктами сгорания углей. Теплопроводность микросферы зависит от диаметра, толщины и теплопроводности материала стенок микросферы, от степени разряжения внутри микросферы. Для керамической микросферы по разным данным коэффициент λ может составлять от 0,06 до 0,00083 Вт/(м · °С) [1, 4].

Коэффициент λ газовой фазы микросферы при нормальных условиях (без разряжения) приближенно равен коэффициенту λ воздуха при нормальных условиях и составляет 0,023 - 0,026 Вт/(м · °С). Это объясняется тем, что состав газовой фазы схож с составом воздуха.

Заявленный коэффициент λ для ЖТПП одних производителей составляет от 0,023 до 0,1 Вт/(м · °С) при 20 °С, полученный по ГОСТ 7076-99 или расчетным путём; некоторые производители указывают некий «результатирующий коэффициент теплопроводности» равный 0,0012 Вт/(м · °С) при 20 °С наряду с указанием λ по ГОСТ 7076-99 в указанных пределах.

Диапазон оценки значения λ для ЖТПП по результатам исследований и анализа опубликованных данных других авторов составляет 0,03 – 0,05 Вт/(м · °С) [3]. Рекордно низкое значение λ равное 0,0012 Вт/(м · °С) при исследованиях не обнаружено.

В источнике [3] высказывается предположение о том, что значительный диапазон коэффициента λ для ЖТПП может быть связан с различием методик его определения. В связи с этим, разработана универсальная методика определения коэффициента λ для различных теплоизоляционных материалов, в том числе и тонкопленочных, с использованием образцов с цилиндрической поверхностью [4].

Независимо от методики, теплопроводность ЖТПП зависит от функционального наполнителя в объёме жидкой теплоизоляции, т.е. микросфер и их теплопроводности. Остальные компоненты материала имеют заведомо большую теплопроводность и меньший объём в составе ЖТПП. Анализируя диапазон изменения заявленного коэффициента λ для ЖТПП, можно сделать вывод о том, что производители используют микросферы, различающиеся по теплопроводности, и (или) используют различное содержание микросфер в материале.

Имеются исследования, подтверждающие влияние на λ для ЖТПП газовой среды, концентрации микросфер и их размеров. При толщине покрытия $8,8 \cdot 10^{-4}$ м и температуре 60 °С: для покрытия с вакуумированными микросферами λ составил 0,028 Вт/(м · °С), для покрытия с газонаполненными микросферами λ равен 0,140 Вт/(м · °С). Концентрация микросфер 85 % является максимально возможной, при этом обеспечивается необходимая адгезия и максимальная теплоизолирующая способность. Влияние связующих материалов на λ незначительно. При исследовании теплоизолирующей способности в зависимости от диаметра микросфер наилучший результат в диапазоне диаметров от 0 до $2 \cdot 10^{-4}$ м получен при значении $7 \cdot 10^{-5}$ м [3].

Вероятно, производители ЖТПП могут удешевлять стоимость своей товарной продукции за счёт использования более дешёвых толстостенных газонаполненных (невакуумированных) микросфер и уменьшения их количества в материале. Фактический коэффициент λ не будет соответствовать заявленному значению, при

этом рядовой потребитель этого не заметит. Т.е. нельзя говорить о фиксированном значении λ для ЖТПП и делать выбор в пользу этого материала только на основании данных производителя.

Для обеспечения оценки теплоизолирующей способности ЖТПП некоторого производителя авторами представленного исследования были выбраны и другие образцы материалов, для которых значения λ , заявленные производителем, имеют меньший диапазон колебаний и вызывают большее доверие. Например, вспененный полиэтилен имеет значение λ в пределах 0,031-0,037 Вт/(м ·°С) [2], для пенополиуретана λ равен 0,022-0,032 Вт/(м ·°С) в зависимости от технологии производства [6].

Оценка теплоизолирующей способности материалов проведена путем сравнения кривых охлаждения воды, заключенной в сосуд из силикатного стекла с крышкой, покрытый теплоизоляцией. Эта методика позволит, не определяя фактические коэффициенты λ исследуемых образцов, выяснить какой из них имеет лучшую теплоизолирующую способность. Методика определения коэффициента λ требует наличия специального оборудования. Кривая охлаждения показывает, сколько градусов температуры потеряет жидкость при движении за время t в трубопроводе или находясь в сосуде. Для реализации методики потребуется несложное лабораторное оборудование и средства измерений.

Исследовалось 9 вариантов теплоизоляции: №1 – без теплоизоляции; №2 – слой ЖТПП толщиной $1 \cdot 10^{-3}$ м; №3 – слой ЖТПП толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м; №4 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м с фольгой, обращенной внутрь сосуда; №5 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м и фольгой снаружи и внутри; №6 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м; №7 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м и фольгой снаружи; №8 – самоклеящаяся фольга; №9 – слой пенополиуретана толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м, полученный методом заливки, с двумя слоями фольги снаружи и внутри.

В нашем исследовании несколько образцов теплоизоляции содержат полированную алюминиевую фольгу, которая, благодаря своим свойствам [5], используется как отражающий слой, что уменьшает лучистый теплообмен. По литературным данным коэффициентом теплового отражения фольги не менее 0,97.

Начальная температура воды равнялась 94,5 °С. Температура T_0 воздуха в помещении поддерживалась на уровне 22 °С, обеспечивалось отсутствие сквозняков. Измерения температур выполнялись с точностью ± 1 °С, времени - с точностью ± 1 с.

Результаты экспериментального исследования материалов сведены в таблицу.

Таблица. Результаты экспериментального исследования.

Время, $t, 10^3$ с	Температура воды в сосуде, $T_w, ^\circ\text{C}$								
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
0	94,5								
1,2	76,0	78,5	82,0	85	86	83	84,5	83	87
1,8	69,0	73,0	77,0	81	82	78	80,5	78	84
2,4	62,0	67,0	72,0	76	78,5	74	77	73	80,5
3,3	56,0	60,5	66,5	71,5	74	68,5	72	67,5	76,5
4,2	51,0	55,5	62,0	67	70	63,5	67,5	62,5	74
5,1	46,5	51,0	57,5	64	67	59,5	64	58,5	71
6,0	43,0	47,5	53,0	61	63,5	56	61,5	54,5	67
Темп. Охл. м	0,142	0,120	0,097	0,071	0,064	0,087	0,069	0,092	0,055

Анализ таблицы производим по значению параметра m , который характеризует скорость охлаждения воды в сосуде и является безразмерной величиной. Чем больше значение m , тем хуже теплоизолирующее свойство материала. Темп охлаждения m рассчитывается по формуле:

$$m = - \frac{\ln T_H - \ln T_K}{\ln t_H - \ln t_K},$$

где: m – температура охлаждения;

T_H – избыточная температура в начале охлаждения, °С;

T_K – избыточная температура в конце охлаждения, °С;

t_H – время в начале охлаждения, с;

t_K – время в конце охлаждения, с.

Избыточная температура рассчитывается как разность между температурами T_v воды в сосуде и T_o воздуха в помещении.

Из таблицы видно, что вариант №3 с ЖТПП имеет теплоизолирующее свойство хуже, чем вариант №6 со вспененным полиэтиленом при прочих равных условиях. Значит, коэффициент λ для исследованного образца ЖТПП не соответствует заявленному, 0,023 Вт/(м · °С), и превышает λ вспененного полиэтилена равному 0,031-0,037 Вт/(м · °С). Вариант №8 (самоклеящаяся алюминиевая фольга) теплоизолирует лучше, чем вариант №3 (слой ЖТПП толщиной $8 \cdot 10^{-3}$ м).

Также выявлено, что ЖТПП разрушается при попадании воды; материал после нанесения слоя толщиной $5 \cdot 10^{-4}$ м на поверхность требует сушки в течение 24 ч. Требуется значительное время для получения ЖТПП окончательной толщины. Лучший результат получен на образце с пенополиуретаном (вариант №9) и двумя отражающими слоями фольги. Наличие отражающих слоёв производит заметный эффект. Результаты исследования могут быть использованы в области теплоизоляции стен зданий, сооружений и трубопроводных коммуникаций.

Литература

1. Алумосиликатные микросферы (тонкостенные, керамические). Основные характеристики и отличительные особенности // inotek.net: сайт группы компаний Инотэк. – 2014. URL. http://inotek.net/keramicheskaya_mikrosfer (дата обращения: 02.04.2014).
2. Изолон пенополиэтилен. Физические свойства // isolon-trade.ru: сайт компании ООО «Изолон-Трейд». – 2011. URL. http://www.isolon-trade.ru/catalog/detail.php?ELEMENT_ID=43 (дата обращения: 02.04.2014).
3. Рыженков В.А. Влияние характеристик микросфер и связующего вещества на теплопроводность тонкопленочных теплоизоляционных покрытий / А.Ф. Прищепов, Н.А. Логинова, А.П. Кондратьев // Надежность и безопасность энергетики. - 2010. - № 10. - С. 28-30.
4. Теплоизоляционные материалы торговой марки «ТЕРМОСИЛАТ»//hermo-house.com: сайт компании «Термохаус». – 2011. URL. <http://thermo-house.com/teploizolyacziya/163-teploizolyaczionnye-materialy-torgovoj-marki-itermosilat.html> (дата обращения: 02.04.2014).
5. Фольгированный материал Армофол //plastex.ru: сайт компании ЗАО "Пластэк". - 2014. URL. <http://www.plastex.ru/catalog/armofol/> (дата обращения: 02.04.2014).
6. Теплоизоляционные материалы Elastopor® Н. Пенополиуретановая изоляция труб // basf.ru: сайт химической компании BASF. – 2014. URL. http://www.basf.ru/ecp2/Business_Segments_products_and_markets_russia/PU_pipe_insulation (дата обращения: 02.04.2014).