

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИДКОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ

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

*Представлены результаты исследования эффективности жидкого теплоизоляционного покрытия. Оценка проведена путем сравнения кривых охлаждения воды в сосуде, покрытом теплоизолятором. Теплоизолирующая способность оказались хуже заявленной производителем.*

*Ключевые слова: теплоизоляция, жидкое теплоизоляционное покрытие, керамические силикатные микросферы, коэффициент теплопроводности жидкого теплоизоляционного покрытия, недостатки и преимущества жидкого теплоизоляционного покрытия.*

### ВВЕДЕНИЕ

Авторы данной статьи занимаются научными исследованиями в области энергетического машиностроения и были намерены в определенных целях использовать теплоизоляцию [1, 2]. Стояла проблема выбора теплоизоляционных материалов и вариантов их комбинации.

Обзор данных о современных теплоизоляционных материалах позволил сделать предварительный выбор в пользу жидкого теплоизоляционного покрытия (ЖТП). Оно имеет, согласно данным большинства производителей, наименьший коэффициент теплопроводности  $\lambda$  из всех существующих.

Согласно данным производителя, рассматриваемый далее образец ЖТП имеет коэффициент  $\lambda$  равный  $0,023 \pm 10\%$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) при  $20 \pm 5$  °С, определенный по ГОСТ 7076-99, пригоден для атмосферных условий.

Авторы статьи намеренно не называют производителей исследованных образцов теплоизоляционных материалов. Образцы всех материалов были приобретены у официальных представителей фирм-производителей, хранились и использовались в соответствии с рекомендациями производителей.

Независимо от марки, ЖТП позиционируется на рынке как теплоизоляция последнего поколения с широкой областью применения. Согласно данным большинства производителей, материал оказывает ощутимый эффект энергосбережения уже при толщине покрытия  $10^{-3}$  м.

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

Анализ информации интернет-сайтов производителей ЖТП показывает, что в качестве функционального наполнителя используют керамические силикатные тонкостенные микросферы в количестве 75–85 %. Остальной объём занимают вспомогательные компоненты. Теплопроводность ЖТП в основном зависит от теплопроводности микросфер.

Керамические силикатные тонкостенные вакуумированные микросферы являются продуктом сжигания углей на энергетическом объекте. Размеры таких микросфер не более 0,5 мм, 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.

Коэффициент  $\lambda$  теплопроводности газовой фазы микросферы при нормальных условиях (без разрежения) приблизительно равен коэффициенту  $\lambda$  воздуха при нормальных условиях и составляет  $0,023-0,026$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Это объясняется тем, что состав газовой фазы схож с составом воздуха. Для керамической микросферы по разным данным коэффициент  $\lambda$  может составлять от  $0,06$  до  $0,00083$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) [3, 4].

Заявленный коэффициент  $\lambda$  для ЖТП различных производителей составляет от  $0,023$  до  $0,1$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) при  $20$  °С, полученный по ГОСТ 7076-99 или расчетным путём. Диапазон оценки значения  $\lambda$  для ЖТП по результатам исследований других авторов составляет  $0,03-0,05$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) [5].

В литературных источниках [5, 6] говорится об отсутствии стандартного метода измерения  $\lambda$  для ЖТП, что приводит к значи-

тельными расхождениями значения  $\lambda$ . В итоге, в работе [5], была разработана универсальная методика определения коэффициента  $\lambda$  для различных теплоизоляционных материалов с использованием образцов с цилиндрической поверхностью.

Имеются исследования, подтверждающие влияние газовой среды, концентрации микросфер и их размеров на  $\lambda$  для ЖТП. При толщине покрытия 880 мкм и температуре 60 °С для покрытия с вакуумированными микросферами теплопроводность  $\lambda$  составила 0,028 Вт/(м°С), для покрытия с газонаполненными микросферами  $\lambda$  равен 0,140 Вт/(м°С).

Концентрация микросфер 85 % является максимально возможной, при этом обеспечивается необходимая адгезия и экстремальное значение  $\lambda$ . Влияние остальных компонентов на  $\lambda$  незначительно. При исследовании  $\lambda$  в зависимости от диаметра микросфер наилучший результат в диапазоне толщины пленки от 0 до 0,2 мм получен при значении  $\lambda$  равном 70 мкм [5].

Независимо от методики, теплопроводность ЖТП зависит от функционального наполнителя в объеме жидкой теплоизоляции, т.е. микросфер и их теплопроводности. Анализируя диапазон изменения заявленного коэффициента  $\lambda$  для ЖТП, можно сделать вывод о том, что производители используют микросферы, различающиеся по теплопроводности, и (или) используют различное содержание микросфер в материале.

Вероятно, производители ЖТП могут удешевлять стоимость своей товарной продукции за счёт использования газонаполненных микросфер и уменьшения их концентрации. Коэффициент  $\lambda$  не будет соответствовать заявленному значению, но потребитель этого не заметит.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования выступает жидкое теплоизоляционное полимерное покрытие.

### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки теплоизолирующей способности образца ЖТП сравнительным методом были выбраны несколько образцы материалов. Например, вспененный полиэтилен, имеющий значение  $\lambda$  в пределах 0,031–0,037 Вт/(м°С) [7], пенополиуретан с коэффициентом  $\lambda$ , равным 0,022–0,032 Вт/(м°С) [8].

Сравнивались кривые охлаждения и темп  $m$  охлаждения воды. Параметр  $m$  характеризует скорость охлаждения воды и является безразмерной величиной. Чем больше значение  $m$ , тем хуже теплоизолирующая способность материала. Для реализации методики требуется несложное лабораторное оборудование и средства измерений.

Исследовались девять вариантов теплоизоляции:

1 – без теплоизоляции; 2 – ЖТП, имеющее толщину  $10^{-3}$  м; 3 – ЖТП, имеющее толщину  $8 \cdot 10^{-3}$  м; 4 – вспененный полиэтилен толщиной  $8 \cdot 10^{-3}$  м с фольгой внутри; 5 – вспененный полиэтилен толщиной  $8 \cdot 10^{-3}$  м и фольгой снаружи и внутри; 6 – вспененный полиэтилен толщиной  $8 \cdot 10^{-3}$  м; 7 – вспененный полиэтилен толщиной  $8 \cdot 10^{-3}$  м и фольгой снаружи; 8 – самоклеящаяся фольга; 9 – пенополиуретан толщиной  $8 \cdot 10^{-3}$  м с фольгой снаружи и внутри.

Как видно, несколько вариантов содержат полированную алюминиевую фольгу, которая отражает тепловое излучение [9] с коэффициентом не менее 0,97. Полированная фольга, эмаль с белой пигментацией, алкидный лак с алюминиевой пудрой, благодаря своим свойствам [9–11], используются как отражающий слой, что уменьшает лучистый теплообмен.

Начальная температура воды была равной 94,5 °С. Температура  $T_A$  воздуха в помещении поддерживалась на уровне 22 °С, обеспечивалось отсутствие сквозняков. Измерения температур выполнялись с точностью  $\pm 1$  °С, времени – с точностью  $\pm 1$  с.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования сведены в таблицу. Кривые охлаждения основных вариантов представлены на рисунке.

Темп охлаждения  $m$  рассчитывался по формуле:

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

где  $T_H$  - избыточная температура в начале

охлаждения, °С;  $T_K$  – избыточная температура в конце охлаждения, °С;  $t_H$  и  $t_K$  – время в начале и конце охлаждения. В этой формуле избыточная температура рассчитывается как

разность между температурами  $T_W$  воды в сосуде и  $T_A$  воздуха в помещении.

Проанализируем представленные результаты (таблица).

Таблица – Результаты экспериментального исследования

Время, $t, 10^3 \text{ c}$	Температура воды в сосуде $T_w, \text{ °C}$								
	№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 охлаждения $m, 10^{-4} \text{ c}^{-1}$	<b>2,065</b>	1,742	1,417	1,034	0,931	1,263	1,013	1,338	<b>0,796</b>

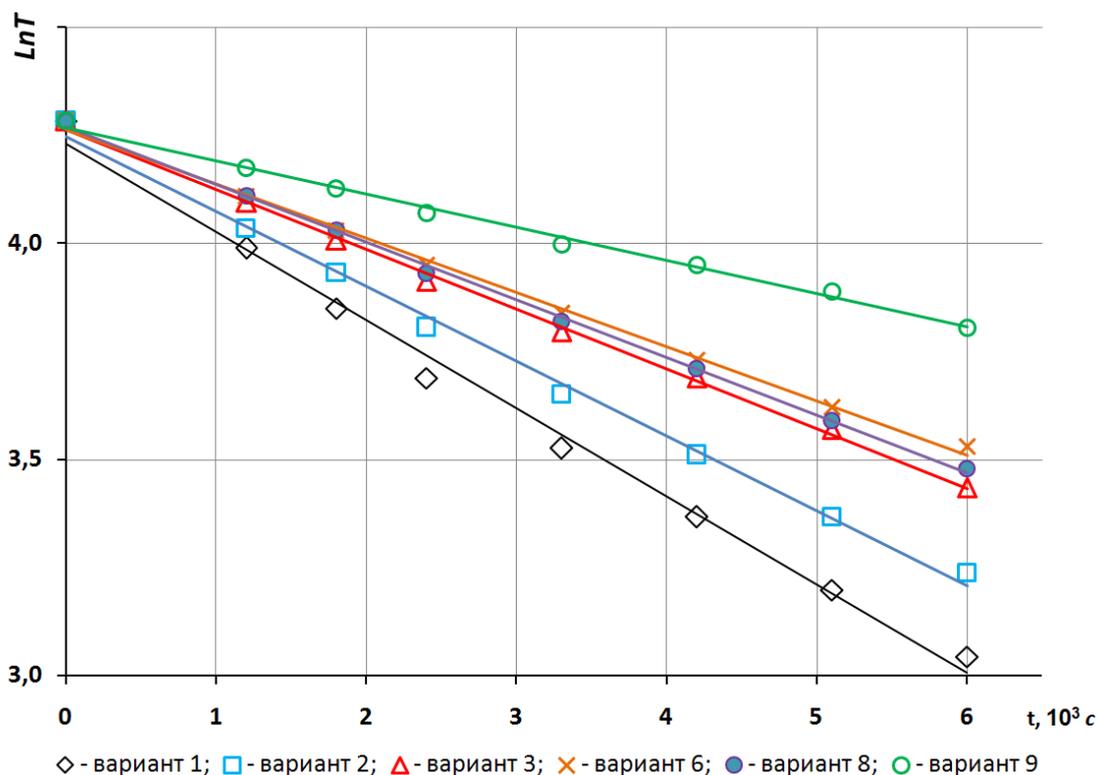


Рисунок – Кривые охлаждения

Вариант 3 с ЖТП хуже, чем вариант 6 с закрытоячеистым полиэтиленом. Значит,  $\lambda$  для образца ЖТП не соответствует заявленному, равному 0,023 Вт/(м°С) и превышает  $\lambda$  полиэтилена равный 0,031–0,037 Вт/(м°С).

Вариант 8 (фольга) лучше, чем вариант 3 (ЖТП толщиной  $8 \cdot 10^{-3}$  м). Лучший ре-

зультат получен с пенополиуретаном (вариант 9) и двумя слоями фольги. Наличие фольги дает заметный эффект.

Выявлено, что ЖТП при попадании воды разрушается, требует защиты от влаги при эксплуатации (при обратном утверждении производителя); после нанесения слоя тол-

щиной  $5 \cdot 10^{-4}$  м требует сушки в течение 24 ч. Потребовалось 16 суток для получения покрытия толщиной  $8 \cdot 10^{-3}$  м. При этом тонкое покрытие толщиной  $10^{-3}$  м оказалось малоэффективным (вариант 2).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге, коэффициент  $\lambda$  для исследованного ЖТП можно оценить как несколько превышающий диапазон 0,031–0,037 Вт/(м°C). Это согласуется с результатами других авторов, получивших значение  $\lambda$  равное 0,03–0,05 Вт/(м°C) [5] для образцов товарной продукции.

Авторы настоящей статьи рекомендуют определять коэффициент  $\lambda$  по методике, предложенной в источнике [5], только после этого возможно адекватное сравнение различных теплоизоляционных материалов.

Преимущества ЖТП заключаются: в простоте его нанесения на поверхностях сложной формы, в отсутствии потребности в крепежных элементах и оболочках. Полученные результаты могут быть полезны в сфере энергосбережения и теплоизоляции на объектах различного назначения. Исследование также позволяет оценить возможные комбинации теплоизоляторов и их эффективность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таусенев Е. М., Свистула А. Е. Применение теплоизоляторов при ремонте, техническом обслуживании и модернизации топливной аппаратуры дизелей. Постановка цели, выбор объекта и методов исследования // *technomag.edu.ru*: сайт электронного научного журнала «Наука и образование», Москва. МГТУ, № 8, 2012. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/452551.html> (дата обращения: 25.04.2014).

2. Таусенев, Е. М., Экспресс-исследование температуры топливопроводов дизельной топливной системы раздельного типа / Е. М. Таусенев, К. В. Кох, А. Е. Свистула, Е. А. Герман // *Ползуновский вестник*. – 2013. – № 4/3. – С. 95–99.

3. Аллюмосиликатные микросферы (тонкостенные, керамические). Основные характеристики и отличительные особенности // *inotek.net*: сайт группы компаний Инотэк. – 2014. URL: [http://inotek.net/keramicheskaya\\_mikrosfer](http://inotek.net/keramicheskaya_mikrosfer) (дата обращения: 02.04.2014).

4. Теплоизоляционные материалы торговой марки «ТЕРМОСИЛАТ» // *hermo-house.com*: сайт компании «Термохаус». – 2011. URL: <http://thermo-house.com/teploizolyacziya/163-teploizolyacziyonnyematerialy-torgovoj-marki-Itermosilatr.html> (дата обращения: 02.04.2014).

5. Рыженков, В. А. Влияние характеристик микросфер и связующего вещества на теплопроводность тонкопленочных теплоизоляционных покрытий / В. А. Рыженков, А. Ф. Прищепов, Н. А. Логинова, А. П. Кондратьев // *Надежность и безопасность энергетики*. – 2010. – № 10. – С. 28–30.

6. Жидкое энергосберегающее теплоизоляционное покрытие «Moutrical» // *moutrical.com*: сайт компании «ЭВЕР». – 2015. URL: <http://www.moutrical.com/products/moutrical-moutrical/> (дата обращения: 25.03.2015).

7. 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](http://www.isolon-trade.ru/catalog/detail.php?ELEMENT_ID=43) (дата обращения: 02.04.2014).

8. Теплоизоляционные материалы Elastopor® Н. Пенополиуретановая изоляция // *basf.ru*: сайт химической компании BASF. – 2014. URL: [http://www.basf.ru/ecp2/Business\\_Segments\\_products\\_and\\_markets\\_russia/PU\\_pipe\\_insulation](http://www.basf.ru/ecp2/Business_Segments_products_and_markets_russia/PU_pipe_insulation) (дата обращения: 02.04.2014).

9. Фольгированный материал Армофол // *plastex.ru*: сайт компании ЗАО «Пластэк». – 2014. URL: <http://www.plastex.ru/catalog/armofol/> (дата обращения: 02.04.2014).

10. Денкер, И. И. Технология окраски самолетов и вертолетов гражданской авиации / И. И. Денкер, В. Н. Владимирский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 128 с.

11. Панченко, Ю. Ф. Энергоэффективность использования нового теплозащитного материала для снижения теплопотребления зданий и сооружений / Ю. Ф. Панченко, Г. А. Зимакова, Д. А. Панченко // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2011. – № 4. – С. 97–105.

*Работа выполнена в рамках исполнения государственного задания Минобрнауки РФ.*

**Таусенев Е.М.**, к.т.н., докторант кафедры ДВС ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: [tausenev\\_e\\_m@bk.ru](mailto:tausenev_e_m@bk.ru).

**Кох К.В.**, аспирант кафедры ДВС ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

**Глуценко А.Г.**, аспирант кафедры ДВС ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

**Свистула А.Е.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ДВС ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: [sae59@mail.ru](mailto:sae59@mail.ru).

**Герман Е.А.**, к.т.н., доцент кафедры ДВС ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».