УДК 536.2.08

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СВЕРХТОНКИХ ЖИДКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Анисимов Максим Васильевич,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Охрана труда и окружающей среды»
Томского государственного архитектурно-строительного университета,
Россия, 634003, пл. Соляная, 2. E-mail: teploproekt@list.ru

Рекунов Виталий Сергеевич,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение»
Томского государственного архитектурно-строительного университета,
Россия, 634003, пл. Соляная, 2. E-mail: Rekunovvs@mail.ru

Актуальность работы *обусловлена необходимостью экспериментальной проверки значений коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий и определения их истинных значений.*
Цель работы: *проведение обзора существующих методик определения теплопроводности жидких теплоизолирующих покрытий; проведение эксперимента по определению значений коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких композиционных покрытий нормативным методом; анализ полученных данных.*
Методы исследования: *проведение эксперимента по существующей нормативной методике при стационарном тепловом режиме.*
Результаты. *Экспериментально определены значения коэффициента теплопроводности некоторых сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий. Выполнен расчет погрешности измерений. В результате проделанной работы был экспериментально определен коэффициент теплопроводности сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий. Он составил для образца № 1 λ=0,086 Вт/(м·°С), для образца № 2 λ=0,091 Вт/(м·°С). Реальный коэффициент теплопроводности исследуемых образцов оказался выше заявленного. Данное расхождение возможно вследствие того, что производители жидких покрытий при лабораторном определении теплопроводности либо использовали некие «идеальные» условия, либо коэффициент был получен путем теоретического решения задачи теплопроводности в жидких композиционных теплоизолирующих средах. Несмотря на это, подобные жидкие теплоизоляционные покрытия представляют собой большой интерес для строителей, т. к. позволяют утеплять объекты сложной геометрической формы (корпуса задвижек, сложные узлы и т. п.), что в ряде случаев делает их практически незаменимыми. Правильный учет теплотехнических качеств красок позволит избежать сверхнормативных увеличений тепловых потерь изолированных трубопроводов с теплоносителем или строительных ограждающих конструкций, а также защитит их от возможного размораживания в период отрицательных температур.*

Ключевые слова:
Эксперимент, коэффициент теплопроводности, теплоизоляция, жидкие сверхтонкие покрытия, тепловая защита.

Анализ проблемы

В настоящее время на строительном рынке имеется широкий выбор различных теплоизоляционных материалов. К уже имеющимся и неплохо себя зарекомендовавшим пенополистирольным, минераловатным утеплителям добавляются все новые и новые материалы, которые фирмы-изготовители предлагают использовать потребителям в различных климатических и строительных условиях [1–3].

Сравнительно недавно некоторые фирмы стали предлагать для утепления фасадов домов, а также инженерных коммуникаций современные сверхтонкие жидкие композиционные теплоизолирующие покрытия (далее теплоизолирующие краски). По мнению самих производителей красок, они обладают исключительными теплоизолирующими качествами (например, коэффициент теплопроводности таких материалов находится на уровне λ=0,001–0,0015 Вт/(м·°С)). В качестве сравнительного примера часто приводятся данные о том, что слой такой краски, толщиной от 1 до 3 мм, нанесенный на инженерные трубопроводы, может с успехом заменить изоляцию в несколько сантиметров толщины широко известных минераловатных утеплителей [4, 5].

Как известно, наилучшими теплоизолирующими качествами обладает вакуум (коэффициент теплопроводности равен λ=0 Вт/(м·°С), а в земных условиях – воздух (λ=0,025 Вт/(м·°С)). Иными словами, производители подобного рода теплоизолирующих красок «поместили» свою продукцию, по их теплоизоляционным качествам, между вакуумом и воздухом. Подобного рода выводы вызывают некоторые сомнения, т. к. изготовители не приводят теоретического обоснования тепловых эффектов, которые привели бы к такому результату, либо они неоднозначны.

В сфере жилищно-коммунального хозяйства применение таких теплоизоляционных материалов может привести к существенной экономии энергоресурсов [6]. Однако теплофизические свойства представляемых теплоизолирующих покрытий до конца еще не изучены. Имеющиеся исследования различных авторов [7–10] по определению коэффициента теплопроводности одних и тех же типов теплоизолирующих красок зачастую показывают существенную разницу.

Следует отметить, что неправильный учет реальных теплоизоляционных качеств строительных материалов может привести к сверхнормативному увеличению тепловых потерь теплоизолированных трубопроводов с теплоносителем или строительных ограждающих конструкций. Кроме того, в ряде случаев это может привести к их возможному размораживанию в период отрицательных температур и прочим проблемам. Последующая замена жидких теплоизоляционных материалов на классические приведет к необоснованному перерасходу материалов, что противоречит ресурсосберегающей политике нашего государства, тем более что указанные теплоизолирующие краски имеют высокую цену.

В связи с этим было принято решение о проведении экспериментального определения коэффициента теплопроводности некоторых образцов теплоизолирующих красок (как одного из основных теплотехнических характеристик таких покрытий) с целью выявления их истинных значений.

Обзор существующих методов определения коэффициентов теплопроводности строительных материалов

На сегодняшний день существуют несколько нормативных методов определения коэффициентов теплопроводности различных строительных материалов [11, 12]. Так, например, в методике [12] используют измерительный комплекс, состоящий:

- из первичного преобразователя, предназначенного для преобразования импульса электрической энергии в тепловую и создания электрического сигнала, характеризующего изменение температуры поверхности материала изделия под воздействием теплового импульса;
- вторичного измерительного прибора для регистрации электрического сигнала;
- импульсного источника тока с таймером теплового импульса, обеспечивающего нагрев пластины первичного преобразователя.

В качестве вторичного измерительного прибора применяют вольтметр чувствительностью не ниже $1 \cdot 10^{-6}$ В с цифропечатающим автономным или встроенным устройством и таймером опроса датчика, задающим интервалы регистрации.

При проведении испытаний изделий толщиной менее 15 мм теплопроводность исследуемого материала для одного измерения вычисляют по формулам, представленным в [12].

Для измерения эффективной теплопроводности и термического сопротивления по методике [11] при стационарном тепловом режиме применяют приборы, собранные по ассиметричной схеме, оснащенные одним тепломером, который расположен между испытываемым образцом и холодной плитой прибора или между образцом и горячей плитой прибора.

Относительная погрешность определения эффективной теплопроводности и термического сопротивления по методу [12] не превышает ±3 %, если испытание проведено в полном соответствии с требованиями стандарта.

Эффективную теплопроводность материала образца λ_{effu} вычисляют по формуле (1) [12]

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_L}, \quad (1)$$

где d_u – толщина образца в процессе испытания, м; ΔT_u – разность температур лицевых граней испытываемого образца, °С; q_u – плотность стационарного теплового потока, проходящего через испытываемый образец, Вт/м^2; R_L – термическое сопротивление листового материала, из которого изготовлены дно и крышка ящика для образца насыпного материала, (м^2·°С)/Вт.

При проведении обзора методик определения коэффициентов теплопроводности материалов следует отметить работу таких авторов как Ю.Ю. Головач (ФГУП НИИ «Сантехники»), А.В. Швецов (Capstone Manufacturing), Ю.Ф. Колхир (ЗАО «Предприятие Итиль»)) [8]. Данный способ определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий λ_u с использованием устройства, включающего сосуд из нержавеющей стали, наполненный водой, нагреваемой до температуры кипения, к которому прикрепляются три камеры из пенопласта соответствующих размеров, разделенные металлическими пластинами. Между первой и второй камерами стоит пластина с нанесенным на нее сверхтонким жидким теплоизоляционным покрытием. Данный способ [8] определяет коэффициент теплопроводности изоляции при строго определенных внешних условиях, чего достигнуть не всегда возможно.

Известен способ определения коэффициента теплопроводности с помощью «вспомогательной стенки» [13], включающей два слоя материала, размещаемые на источнике тепла, один из которых с известным коэффициентом теплопроводности, у второго определятся коэффициент теплопроводности по формуле (2)

$$\lambda_2 = \delta_2 \frac{\lambda_1}{\delta_1} \frac{t_T - t_1}{t_1 - t_2}, \quad (2)$$

где δ_1 и λ_1 – толщина и коэффициент теплопроводности материала с известным коэффициентом теплопроводности; $t_т$ – температура источника тепла; t_1 – температура между слоями стенки; t_2 – температура наружной поверхности второго слоя; δ_2 – толщина слоя, коэффициент теплопроводности которого определяется. Этот слой может быть теплоизоляцией [13].

По указанному способу можно определить коэффициент теплопроводности традиционных теплоизоляторов. Способ основан на равенстве удельных тепловых потоков, применять его при определении коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покры-

тий возможно при известной теплопроводности одного из слоев, что не всегда возможно.

Также существует запатентованный метод определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий [14]. Суть метода заключается в использовании многослойной плоскопараллельной стенки, состоящей из двух слоев материала, установленных на источник тепла, измерении температуры источника тепла, температур между двумя слоями материала и наружной поверхности, в определении $\lambda_ц$ по расчетной формуле (3).

Согласно изобретению, температуру неизолированной наружной поверхности верхнего слоя $t_н$ вычисляют как разность удвоенной температуры между слоями материала и температуры источника тепла по равенству: $t_н=2t-t_т$. Затем закрепляют на наружной поверхности верхнего слоя материала тонкую металлическую пластину с нанесенным на нее сверхтонким жидким теплоизоляционным покрытием, измеряют температуру в контактной поверхности верхнего слоя материала и металлической пластины с теплоизоляцией $t_ц$ и определяют коэффициент теплопроводности сверхтонкого жидкого теплоизоляционного покрытия $\lambda_ц$ по формуле:

$$\lambda_ц = \delta_ц \frac{\lambda}{\delta}\left(1-\frac{t_і}{t_ц}\right), \qquad (3)$$

где $\lambda_ц$ – коэффициент теплопроводности сверхтонкого теплоизоляционного покрытия; $\delta_ц$ – толщина сверхтонкого теплоизоляционного покрытия; δ – толщина слоя материала; λ – коэффициент теплопроводности материала; $t_н$ – температура неизолированной наружной поверхности верхнего слоя; $t_ц$ – температура в контактной поверхности верхнего слоя материала и металлической пластины с теплоизоляцией.

Анализ условий применимости существующих методов показал, что нормативный метод [11] разработан для измерения коэффициента теплопроводности в основном сыпучих материалов, что не отвечает начальным требованиям. Метод [8] весьма требователен к точности поддержания температурных условий. Метод [14] разработан для области λ=0,01÷0,009 Вт/(м·°С), что не отвечает требованиям к диапазону измерений.

Кроме работ российских ученых в области определения коэффициента теплопроводности теплоизолирующих красок был проанализирован аналогичный опыт зарубежных специалистов в решении схожих задач [15–20].

В соответствии с проведенным анализом существующих методик, было принято решение об использовании для экспериментального определения коэффициента теплопроводности некоторых образцов теплоизолирующих красок нормативного метода [12] с заменой тепломера на слой материала с известной теплопроводностью. Такая замена является корректной и не противоречит теории исследования тепловых процессов [13]. Метод [12] отвечает всем требованиям к проведению эксперимента (стандарт не распространяется на материалы и изделия с теплопроводностью более 1,5 Вт/(м·°С) и относительная погрешность определения эффективной теплопроводности и термического сопротивления по методу [12] не превышает ±3 %).

Описание проведения эксперимента

Для проведения эксперимента авторами был рассмотрен перечень наиболее известных фирм-производителей жидких теплоизолирующих покрытий.

На строительном рынке России можно встретить достаточно большое количество жидких теплоизоляционных покрытий (например, mascoat, tsmceramic, thermalcoat, «Изоллат», «Астратек», «Альфатек», «Теплокотт», «Корунд» и т. п.).

Для исследований были выбраны два образца из вышеперечисленных марок жидких утеплителей, которые получили наименование «Образец» (далее Образец № 1 и Образец № 2). Некоторые характеристики образцов приведены в табл. 1. Производители теплоизоляционных красок зачастую не предоставляют полную информацию о физико-химическом составе производимых ими теплоизолирующих покрытий, поэтому состав теплоизолирующих красок исследуемых образцов был получен с официальных сайтов заводов-изготовителей. В состав красок входят: микросферы стеклокерамические, связующие, диспергаторы, наполнители, пигменты, разбавители. Как правило, поставщики не приводят процентного соотношения ингредиентов.

Таблица 1. *Некоторые заявленные характеристики экспериментальных образцов*

Table 1. *Specifications of the experimental samples*

Наименование характеристики Characteristic	Ед. измерения Unit	Образец Sample	
		№ 1	№ 2
Цвет покрытия Coat color		Белый White	
Теплопроводность Heat conductivity	Вт/(м·°С) W/(m·°C)	0,0011	0,002–0,007
Плотность Density	кг/м³/kg/m³	390	280
Паропроницаемость Vapor permeability	мг/(м·ч·Па) mg/(m·h·Pa)	0,012	
Водопроницаемость Water conducsticity	кг/(ч·м·0,1 ати) kg/(h·m·0,1 atmg)	менее 30 less than 30	
Тепловосприятие Heat absorption	Вт/м·°С W/m·°C	1,78	
Теплоотдача Heat transfer		1,58	
Блеск покрытия Coating shine	%	7,4	7,1

Для проведения эксперимента был разработан измерительный комплекс, который включал в себя:

1. Устройство для тестирования образцов (рис. 1).
2. Прибор марки «Терем-4.0» для измерения показаний от термопар.
3. Термопары «хромель-копелевые», изготовленные из проводов толщиной δ=0,2 мм.
4. Пластина из материала с известным коэффициентом теплопроводности (оргстекло, толщиной δ=3,2 мм, λ=0,19 Вт/(м·°С)), которая являлась заменой тепломеру.

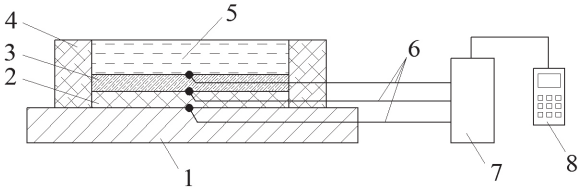


Рис. 1. *Принципиальная схема измерительного комплекса: 1 – источник стационарного теплового потока; 2 – слой материала с известной толщиной и коэффициентом теплопроводности (оргстекло); 3 – слой теплоизолирующей краски; 4 – теплоизолятор (пенопласт); 5 – «холодильник» (емкость с водой); 6 – термопары между слоями; 7 – коммутатор; 8 – прибор измерения «Терем-4.0»*

Fig. 1. *Diagram of the measuring system: 1 is the source of continuous heat flux; 2 is the layer of the material with known thickness and heat conductivity coefficient (plexiglass); 3 is the layer of heat insulating paint; 4 is the heat insulator (foam plastics); 5 is the «refrigerator» (container with water); 6 are the thermocouples between the layers; 7 is the switching device; 8 is the measuring device «Terem-4.0»*

Краска слоя № 3 (рис. 1) наносилась равномерно на медную пластину, толщиной 0,5 мм. Сопротивление теплопередаче медной пластины учитывалось при расчете по формуле (1) как составляющая R_L.

Удельный тепловой поток $q_и$, Вт/м^2, в зависимости (1) определялся по формуле:

$$q_u = \frac{\lambda_{\text{слой 2}}(t_1 - t_2)}{\delta_{\text{слой 2}}},$$

где $\lambda_{\text{слой 2}}$, $\delta_{\text{слой 2}}$ – коэффициент теплопроводности и толщина слоя оргстекла (рис. 1); t_1, t_2 – температуры на границах «источник теплоты – слой оргстекла» и «слой оргстекла – испытуемый образец», соответственно (рис. 1).

Теплопроводность медной пластины, толщиной δ=0,5 мм, равна λ=384 Вт/(м·°С). Температура воздуха в помещении при проведении эксперимента была равна $t_в$=24 °С, относительная влажность воздуха φ=40 %.

Для стабилизации показаний прибора в процессе его «прогрева» и перевода теплового потока в стационарный режим (выравнивания тепловых потоков) были проведены контрольные замеры динамики показаний прибора по 3-м датчикам термопар в течение 0,5 часа с шагом проведения измерения 5 мин (рис. 2).

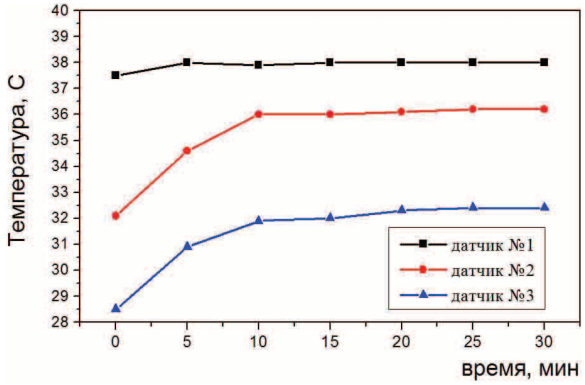


Рис. 2. *Показания прибора по данным от 3-х датчиков термопар по времени*

Fig. 2. *Readings of the unit according to the data of three thermocouple detectors by time*

Из представленного графика видно, что показания прибора выходили на стационарный уровень через 20 мин после начала его работы, что было учтено при проведении экспериментов.

Для вычисления индивидуальной погрешности датчиков термопар перед началом экспериментов были проведены замеры температур для каждого датчика, погруженного в сосуд «Дьюара», наполненного талым снегом. Полученные отклонения температур от температуры 0 °С были учтены при проведении экспериментов.

Для проверки адекватности разработанного устройства измерения теплопроводности теплоизолирующих красок вначале были произведены поверочные работы. Вместо слоя № 3 (рис. 1) в устройство была помещена пластина из оргстекла, аналогичная по габаритам, толщине и теплопроводности пластине в слое № 2. Были проведены поверочные измерения. По результатам этих измерений было получено, что теплопроводность тестируемой пластины из оргстекла составила λ=0,186 Вт/(м·°С).

Погрешность метода измерения теплопроводности составляет

$$\Delta = \frac{0{,}19 - 0{,}186}{0{,}19} 100\ \% = 2{,}1\ \%.$$

Полученные данные свидетельствуют, что погрешность по данному методу не превышает погрешности, заявленной в ГОСТ [12] (±3 %), что говорит о корректности выбранной схемы исследований.

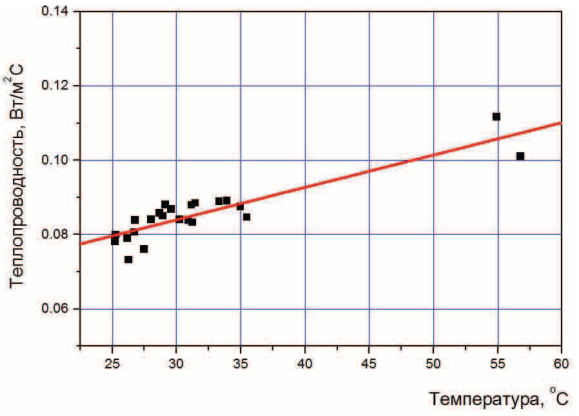
Анализ результатов эксперимента

Для анализа динамики изменения коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры образцов краски «Образец № 1» и «Образец № 2» тестировались в разных температурных режимах при различном тепловом потоке [21]. Исходные данные эксперимента приведены в табл. 2. Полученные результаты представлены на рис. 3.

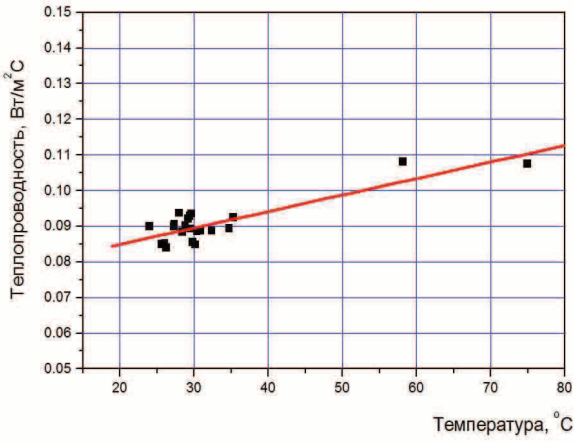
Как видно из рис. 3, средняя величина коэффициента теплопроводности с увеличением температуры образца краски также увеличивается. Данное наблюдение удовлетворительно согласуется с аналогичными результатами, представленными в [10].

Таблица 2. *Исходные данные к проведению эксперимента*
Table 2. *Initial conditions before the experiment*

Исходные данные Initial conditions	Образец Sample	
	№ 1	№ 2
Влажностное состояние образцов Sample humidity condition	Сухой Dry	
Толщина краски (мм) Paint thickness (mm)	5,35	5,15
Толщина медной пластины (мм) Coper plate thickness (mm)	0,5	
Температура воздуха в помещении (°С) Air temperature indoors (°С)	23–24	
Относительная влажность воздуха в помещении (%) Relative air humidity indoors (%)	38–42	
Теплопроводность меди ($\rho_{меди}$=8500 кг/м³) (Вт/м·°С) Coper thermal conductivity (ρ_{coper}= 8500 kg/m³) (W/m·°C)	384	



а/a



б/b

Рис. 3. *Результаты эксперимента по определению теплопроводности образцов краски: а) Образец № 1; б) Образец № 2*

Fig. 3. *Experimental results on determination of paint sample thermal conductivity: a) sample № 1; b) sample № 2*

Как показал эксперимент, у образца № 1 средний коэффициент теплопроводности составил λ=0,086 Вт/(м·°С), у образца № 2 – λ=0,091 Вт/(м·°С).

Расчет погрешности измерений проводился по зависимостям (4)–(6) [22]

$$\overline{A} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i}{n}, \quad (4)$$

где A – измеряемая величина; $\overline{A}$ – среднее значение измеряемой величины; $\Delta\overline{A}$ – абсолютная погрешность среднего значения измеряемой величины, определяемая по формуле:

$$\Delta\overline{A} = t_{y,n-1}\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(A_i - \overline{A})^2}}{\sqrt{n-1}}, \quad (5)$$

где $t_{y,n-1}$ – коэффициент Стьюдента (при $t_{95\,\%,23}$=2,074).

Относительная погрешность среднего значения измеряемой величины рассчитывается по зависимости [20]

$$\varepsilon = \frac{\Delta\overline{A}}{\overline{A}}. \quad (6)$$

Погрешность измерения составила ε=1,85 %.

Итоговая погрешность определения теплопроводности с учетом погрешности метода исследования (3 %) и погрешности прибора (1 %) составила 5,85 %.

Заключение

В результате проделанной работы был экспериментально определен коэффициент теплопроводности сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий. Он составил для «Образца № 1» λ=0,086 Вт/(м·°С), для «Образца № 2» – λ=0,091 Вт/(м·°С).

Бесспорно, рассматриваемые жидкие покрытия можно отнести к утеплителям. По своим теплотехническим характеристикам они не уступают, например, минеральной вате (λ=0,07 Вт/(м·°С) или пеностеклу (λ=0,1 Вт/(м·°С). Тем не менее, их реальный коэффициент теплопроводности оказался выше заявленного. Данное расхождение возможно вследствие того, что производители жидких покрытий при лабораторном определении теплопроводности либо использовали некие «идеальные» условия, либо коэффициент был получен путем теоретического решения задачи теплопроводности в жидких композиционных теплоизолирующих средах.

Несмотря на это, подобные жидкие теплоизоляционные покрытия представляют собой большой интерес для строителей, т. к. позволяют утеплять объекты сложной геометрической формы (корпуса задвижек, сложные узлы и т. п.), что в ряде случаев делает их практически незаменимыми.

Правильный учет теплотехнических характеристик красок позволит избежать сверхнормативного увеличения тепловых потерь изолированных

трубопроводов с теплоносителем или строительных ограждающих конструкций, а также защитит их от возможного размораживания в период отрицательных температур.

Данное исследование не претендует на роль «окончательного» и скорее направлено на предпосылки к дальнейшему изучению теплоизоляционных свойств современных жидких композиционных теплоизолирующих покрытий, т. к. их теплофизические свойства на сегодняшний день еще недостаточно изучены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изолонпенополиэтилен. Физические свойства // Сайт компании ООО «Изолон-Трейд». 2015. URL: isolon-trade.ru (дата обращения: 30.05.2014).
2. Теплоизоляционные материалы торговой марки «ТЕРМОСИЛАТ» // Сайт компании «Термохаус». URL: http://thermohouse.ru (дата обращения: 29.05.2014).
3. Теплоизоляционные материалы Elastopor® H. Пенополиуретановая изоляция труб // Сайт химической компании BASF. URL: basf.ru (дата обращения: 30.05.2014).
4. Домбровский Л.А. Моделирование теплового излучения полимерного покрытия, содержащего полые микросферы // Теплофизика высоких температур. – 2005. – Т. 43. – № 1. – С. 1–11.
5. Герман М.Л., Гринчук П.С. Математическая модель расчета теплозащитных свойств композиционного покрытия «керамические микросферы – связующее» // Инженерно-физический журнал. – 2002. – Т. 75. – № 6. – С. 43–53.
6. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве. – М.: Инфра-М, 2010. – 320 с.
7. Ширинян В.Т. Поход жидко-керамического «супертеплоизоляционного» покрытия по тепловым сетям России // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 9. – С. 46–51.
8. Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких тепловых изоляционных материалов / Ю.Ю. Головач, А.В. Швецов, Ю.Ф. Колхир и др. – Казань, 2008. URL: http://inn-t.com/teploprovodnost/index.html (дата обращения: 30.05.2014).
9. Экспериментальное определение коэффициентов теплопроводности и эффективности сверхтонких теплоизоляционных покрытий / И.О. Манешев, Ю.И. Правник, Р.А. Садыков, И.А. Сафин, С.А. Еремин // Известия КазГАСУ. – 2013. – № 1 (23). – С. 135–142.
10. Логинова Н.А. Определение эффективности тонкопленочных теплоизоляционных покрытий применительно к системам теплоснабжения: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2010. – 133 с.
11. ГОСТ 30290–94. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности поверхностным преобразователем. – Введ. 01.01.1996. – М.: Госстрой России, 1996. – 12 с.
12. ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – Введ. 01.04.2000. – М.: Госстрой России, 2000. – 20 с.
13. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Высш. школа, 1973. – 309 с.
14. Способ определения коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких теплоизоляционных покрытий: пат. РФ № 2478936, МПК G01N25/18, G01N25/20; заявл. 07.11.2011, опубл. 10.04.2013. – 5 с.
15. Thermal conductivity measurement of liquids in a microfluidic device / D. Kuvshinov, M.R. Bown, J.M. MacInnes, R.W.K. Allen, R. Ge, L. Aldous, C. Hardacre, N. Doy, M.I. Newton, G. McHale // Microfluid Nanofluid. – 2011. – V. 256. – P. 123–132.
16. Gustavson M., Nagai H., Okutani T. Thermal effusivity measurements of insulating liquids using microsized hot stripprobes / Rev. Sci. Instrum. – 2003. – V. 5018. – № X.– P. 4542–4548.
17. Hammerschmidt U. A quasi-steady state technique to measure the thermal conductivity // Int. J. Thermophys. – 2003. – V. 355. – P. 291–312.
18. Kuntner J., Kohl F., Jakoby B. Simultaneous thermal conductivity and diffusivity sensing in liquids using a micromachined device // Sens Actuators. – 2006. – V. 128. – P. 62–67.
19. Short hot wire technique for measuring thermal conductivity and thermal diffusivity of various materials / H. Xie, H. Gu, M. Fujii, X. Zhang // Meas. Sci. Technol. – 2006. – V. 312. – P. 208–214.
20. An improved hotprobe for measuring thermal conductivity of liquids // Zhang H., Zhao G., Ye H., Ge X., Cheng S. // Meas. Sci. Technol. – 2005. – V. 535. – P. 430–435.
21. Мусин И.А. Планирование эксперимента при моделировании погрешности измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 138 с.
22. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: справочное руководство. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

Поступила 27.02.2015 г.

UDC 536.2.08

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF SUPERTHIN LIQUID COMPOSITE THERMAL INSULATION COATINGS

Maksim V. Anisimov,
Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya square,
Tomsk, 634003, Russia. E-mail: teploproekt@list.ru

Vitaly S. Rekunov,
Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya square,
Tomsk, 634003, Russia. E-mail: Rekunovvs@mail.ru

The relevance *of the research is caused by the necessity of experimental check of the values of thermal conductivity coefficient of superthin liquid composite thermal insulation coatings and determination of their true values.*
The aim *of the work is to carry out the experiment to determine the values of thermal conductivity coefficient of superthin liquid composite thermal insulation coatings by standard method and to analyze the obtained data.*
Methods of research: *the experiment using the existing standard technique at a stationary thermal regime.*
Results. *The authors have determined the values of thermal conductivity coefficient of some superthin liquid composite heat insulating coverings and calculated the measurement error. The thermal conductivity coefficient of superthin liquid composite heat insulating coverings was experimentally defined. It amounts λ=0,086 Vt/m°C for sample № 1, and λ=0,091 Vt/m°C for sample № 2. The real thermal conductivity coefficient of the investigated samples was higher than the declared one. The given discrepancy is possible due to the fact that the manufacturers of liquid coverings at laboratory definition of heat conductivity used certain «ideal» conditions or the coefficient was received by the theoretical decision of a problem of heat conductivity in liquid composite heat insulating media. In spite of this fact the similar liquid heat insulating coverings are of great interest for builders, since they allow insulating objects with the complex geometrical form (valves, complex assemblies, etc.) that makes them almost irreplaceable in some cases. The correct account of thermotechnical qualities of paints allows avoiding supernormative increase in thermal losses of isolated pipelines with the heat-carrier or building envelopes, and it will also protect them from possible thawing at subzero temperatures.*

Key words:
Experiment, coefficient of heat conductivity, heat insulation, superthin liquid coatings, thermal shielding.

REFERENCES

1. Izolonpenopoliatilen. Fizicheskie svoistva [Izolonpenopolietilen. Physical properties]. *Izolon-Treid*. 2015. Available at: isolon-trade.ru (accessed 30 May 2014).
2. Teploizoiatsyonnye materialy torgovoimarki «TERMOSILAT» [Insulation materials brand «TERMOSILAT»]. *Termokhays*. Available at: http://thermohouse.ru (accessed 29 May 2014).
3. *Teploizoiatsyonnye materialy Elastopor® H.Penopoliyretanovay izolytsia trub* [Thermal insulation materials Elastopor® H. Polyurethane foam pipe insulation]. *BASF*. 2014. Available at: basf.ru (accessed 30 May 2014).
4. Dombrovsky L.A. Modelirovanie teplovogo izluchenia polimernogo pokrytiya soderzashchego polye microsfery [Modeling of thermal radiation of polymeric coating containing hollow microsphere]. *Teplofizika vysokikh temperatur*, 2005, vol. 43, no. 1, pp. 1–11.
5. German M.L. Matematicheskay model rascheta teplozashchitnykh svoystv kompozitsionnogo pokrytiya «keramicheskie microsfery – svyazuyushchee» [Mathematical model of calculating thermal properties of composite coating «ceramic microsphere – binder»]. *Inzhenerno-fizichesky zhurnal*, 2002, vol. 75, no. 6, pp. 43–53.
6. Komkov V.A., Timakhova N.S. *Energosberezhenie v zhilishchno-kommynalnom khozyaystve* [Energy saving in housing and communal services]. Moscow, Infa-M Publ., 2010. 320 p.
7. Shirinian V.T. Pokhod zhidko-keramicheskogo «syperteploizolyaztsionnogo» pokrytiya po teplovym setiam Rossii [Hike liquid ceramic «superteploizolyatsionnogo» coverage for Russian heat networks]. *Novosti teplosnabzhenia*, 2007, no. 9, pp. 46–51.
8. Golovach Yu.Yu., Shvetsov A.V., Kolkhir Yu.F. *Metod postanovki opyta i rascheta koeffitsienta teploprovodnosti dlya sverkhtonkikh teplovykh izolyatsionnykh materialov* [The method of the experiment and the calculation of the thermal conductivity for ultra-thin thermal insulation materials]. Kazan. 2008. Available at: http://inn-t.com/teploprovodnost/index.html (accessed 30 May 2014).
9. Maneshev I.O., Pravnik Hu.I., Sadykov R.A., Safin I.A., Eremin S.A. Eksperimentalnoe opredelenie koeffitsientov teploprovodnosti i effektivnosti sverkhtonkikh teploizolyatsionnykh pokryty [Experimental determination of thermal conductivity coefficients and efficiency of ultrathin thermal insulation coatings]. *Izvestia KazGASY*, 2013, no. 1 (23), pp. 135–142.
10. Loginova N.A. *Opredelenie effektivnosti tonkoplenochnykh teploizolyatsionnykh pokritiy primenitelno k sistemam teplosnabzheniya*. Dis. Kand. nauk [Efficiency of thin-film thermal insulation coatings in centralized heat supply systems. Cand. Diss.]. Moscow, 2010. 133 p.
11. *GOST 30290–94. Materialy i izdeliya stroitelnye. Metod opredeleniya teploprovodnosti poverkhnostnym preobrazovatelem. Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshchenyakh* [State Standard 30290–94. Building materials and products. The method of determining the thermal conductivity of the surface transducer]. Moscow, 1996. 12 p.
12. *GOST 7076–99. Materialy i izdeliya stroitelnye. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri statsionarnom teplovom rezhime* [State Standard 7076–99. Building materials and products. Method for determination of thermal conductivity and thermal resistance under steady-state thermal conditions]. Moscow, 2000. 20 p.
13. Mikheev M.A. *Osnovy teploperedachi* [Bases of thermal conductivity]. Moscow, Visshaya shkola publ., 1973. 309 p.
14. Pravnik Yu.I., Sadykov R.A. Ivanova R.V. *Sposob opredeleniya koeffitsienta teploprovodnosti sverkhtonkikh zhidkikh teploizolyatsionnykh pokryty* [A method for determining the thermal conductivity of ultrathin liquid insulation coating]. Patent RF, no. 2478936, 2013.

15. Kuvshinov D., Bown M.R., MacInnes J.M., Allen R.W.K., Ge R., Aldous L., Hardacre C., Doy N., Newton M.I., McHale G. Thermal conductivity measurement of liquids in a microfluidic device. *Microfluid Nanofluid*, 2011, vol. 256, pp. 123–132.
16. Gustavson M., Nagai H., Okutani T. Thermal effusivity measurements of insulating liquids using microsized hot stripprobes. *Rev. Sci. Instrum.*, 2003, no. X, vol. 5018, pp. 4542–4548.
17. Hammerschmidt U. A quasi-steady state technique to measure the thermal conductivity. *Int. J. Thermophys.*, 2003, vol. 355, pp. 291–312.
18. Kuntner J., Kohl F., Jakoby B. Simultaneous thermal conductivity and diffusivity sensing in liquids using a micromachined device. *Sens Actuators*, 2006, vol. 128, pp. 62–67.
19. Xie H., Gu H., Fujii M., Zhang X. Short hot wire technique for measuring thermal conductivity and thermal diffusivity of various materials. *Meas. Sci. Technol.*, 2006, vol. 312, pp. 208–214.
20. Zhang H., Zhao G., Ye H., Ge X., Cheng S. An improved hotprobe for measuring thermal conductivity of liquids. *Meas. Sci. Technol.*, 2005, vol. 535, pp. 430–435.
21. Musin I.A. *Planirovanie eksperimenta pri modelirovanii pogreschosti izmereniy* [Planning experiments when modeling measurement uncertainty]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989. 138 p.
22. Rumshinskiy L.Z. *Matematicheskaya obrabotka rezultatov experimenta* [Experiment results mathematic processing]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 192 p.

Received: 27 February 2015.