

ЖИДКОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ — НОВОЕ СЛОВО В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

Вахитова Л. Н.

Старший научный
сотрудник
ИнФОРУ НАН Украины

Завертаный А. А.

Инженер
НПП «Спецматериалы»,
г. Донецк

Проблема энергосбережения в последние годы является одной из главных для всех развитых экономик. Поэтому поиск новых технологических решений и подходов, направленных на уменьшение теплопотерь всех без исключения производств, предприятий жилищно-коммунального хозяйства, объектов гражданского строительства, является задачей повышенной актуальности. В этой связи как одно из революционных решений теплосбережения можно рассматривать жидкокерамические покрытия (ЖКП), которые при толщине 2-3 мм обеспечивают такой же теплоизоляционный эффект, как слой минеральной ваты толщиной 50 мм.

Немного теории

ЖКП — это композиционный материал, состоящий из полых стеклянных или керамических микросфер и полимерного связующего. Полые микросферы представляют собой мелкодисперсные, легкосыпучие порошки, состоящие из тонкостенных (0,25—10 мкм) алюмосиликатных, натрийкалий-боросиликатных частиц сферической формы диаметром 10—500 мкм и насыпной плотностью до 0,2 г/см³. Микросферы могут быть вакуумированными или наполненными разреженным воздухом (в зависимости от условий их производства) и, благодаря удачному сочетанию сферической формы, контролируемых размеров, низкой плотности, относительно высокой прочности на всестороннее сжатие, хорошим тепло-, звукоизоляционным и диэлектрическим свойствам, являются одним из перспективнейших техногенных наполнителей полимерных материалов.

Вышеперечисленные свойства микросфер обуславливают основное преимущество и уникальность ЖКП — их *теплоизоляционные свойства*. Производители, продавцы и специалисты-теплотехники объясняют высокие теплоизоляционные характеристики покрытий на основе микросфер сочетанием двух основных факторов. Во-первых, наличие в ЖКП большого количества (в некоторых случаях до 90 %) вакуумированных или наполненных разреженным воздухом микросфер позволяет получать материал с крайне низкой теплопроводностью (до 0,001 Вт/м·°C). Во-вторых, принято считать, что слои с микросферами имеют низкую излучательную способность и поэтому эффективно (до 85 %) подавляют

радиационную составляющую теплового потока.

Существует еще и третий, пожалуй, решающий фактор в пользу выбора тонкослойных теплоизоляционных покрытий, связанный с историей вопроса. Все рекламные материалы, а в ряде случаев и техническая документация по ЖКП, содержат обязательную фразу, которая в разных вариациях звучит приблизительно так: «*Покрытия с микросферами — это продукт научных, военных и космических технологий специалистов NASA, рассекреченный 15 лет назад в рамках программы «Обмен для общественного использования»*». И, для неоспоримой убедительности, завершающий аккорд: «*Корпус космического корабля «Шатл» и других космических аппаратов успешно противостоит тепловым нагрузкам, во многом благодаря технологии использования в своих защитных покрытиях керамических микросфер*».

Еще меньше практики

Естественно, после таких серьезных рекомендаций ЖКП было обеспечено триумфальное шествие по всему миру. Однако, к нашему большому удивлению, рынок теплоизоляционных ЖКП в Украине оказался более чем скромным: покрытия отечественного производства «Керамизол» (фирма «Инкор+», г. Северодонецк) и «Термодон» (НПП «Спецматериалы», г. Донецк), а также небольшой ассортимент импортных покрытий — «Термо-Шилд», «Termal Trust», «Изолат» и некоторых других.

В то же время в России начиная с 2001 года выпускается более чем 50 наименований ЖКП, которые активно используют

ся в качестве теплоизоляционного материала для покрытия трубопроводов пара, горячей воды, водонагревательного оборудования котельных, нефте- и бензохранилищ, для покрытия наружных ограждающих конструкций жилых, общественных и промышленных зданий.

Необъяснимо, но факт?

Особенно покрытия с микросферами зарекомендовали себя в теплоэнергетике. Масштабность применения ЖКП в этой отрасли обусловлена, прежде всего, задекларированными производителем показателями коэффициента теплопроводности — величины, численно равной количеству теплоты, проходящей через материал толщиной 1 м и площадью 1 м² за час при разности температур на двух противоположных поверхностях в 1°C (°K).

В табл. 1 представлена сравнительная характеристика теплопроводности некоторых ЖКП (№ 8—13) и известных строительных теплоизолирующих материалов. Даже самый непритязательный читатель обратит внимание на явные несоответствия в данной таблице. С одной стороны, не понятно, как покрытие с коэффициентом теплопроводности 0,27 Вт/м.°C (№ 7) при толщине слоя в 2 мм может по теплоизоляции конкурировать с минеральной ватой ($\lambda = 0,045$ Вт/м.°C, № 3) толщиной в 50 мм. С другой стороны, как комбинация стеклянных микросфер, воздуха, полимерного связующего в ЖКП может приводить к аддитивному коэффициенту теплопроводности 0,001 Вт/м.°C (№ 11, 12), который в сотни раз меньше составляющих покрытия (№ 2, 5, 6)? Некоторым оправданием уникальных теплоизоляционных свойств ЖКП может служить гипотеза, что микросферы в своих полостях не содержат ничего кроме вакуума. Однако это тема другой публикации, которая должна быть посвящена соотношению усилий на промышленное производство действительно вакуумированных микросфер и ценовой политики производителей ЖКП. Не

зря в России микросферы на протяжении последних лет называют ценосферами, и они представляют собой либо продукты высокотемпературного обжига стеклянной пыли, либо легкую фракцию зол уноса тепловых электростанций.

Ответы на ряд вопросов заключены, в конечном итоге, в пространственной структуре покрытия, наполненного большим количеством микросфер разного диаметра. После нанесения краски в процессе сушки происходит регулируемое формирование слоя покрытия. Если посмотреть на срез покрытия под микроскопом, то видно, что находящиеся в полимере во взвешенном состоянии полые микросферы создают кластерные образования, располагающиеся между тончайшими слоями полимера, насыщенного воздушными прослойками. Причем в силу низкой плотности микросфер наблюдается неравномерность их распределения по толщине покрытия, внешний слой которого представляет собой плотную упаковку кластеров с выступающими сферическими поверхностями. Сформированный таким образом поверхностный слой покрытия значительно уменьшает мощность радиационного потока, что влияет на величину теплопередачи в целом и соответственно приводит к неправильному определению теплопроводности материала по стандартам, предусмотренным для обычных теплоизоляционных материалов.

Поэтому в открытой печати появляется все большее количество критических публикаций, подвергающих сомнению озвученные производителем теплоизоляционные характеристики, а следовательно и целесообразность применения ЖКП в качестве эффективных теплоизоляторов энергосистем, тепловых трасс, утеплителей строительных конструкций. С мнением скептиков нельзя не согласиться, поскольку главной проблемой в обсуждаемой сфере не только в России, но и во всем мире является отсутствие единой и достоверной методики определения теплофизических свойств сверхтонких энергосберегающих покрытий нового поколения. Нет ГОСТов или стандартов ASTM, позволяющих получать количественные и воспроизводимые в лабораторных условиях характеристики теплопроводности тонких изоляционных покрытий различных типов с учетом толщины покрытия, температурного режима, давления и других условий испытаний.

Расчетный метод определения теплопроводности ЖКП, основанный на установлении термическо-

го сопротивления покрытия, также не является корректным, поскольку механизм теплопередачи ЖКП отличается от механизма теплопередачи однородных теплоизоляционных материалов. Неоднократно было показано, что коэффициент теплопроводности покрытия находится в сильной зависимости от абсолютной температуры поверхности и разности температур поверхности и окружающей среды, то есть представляет собой сложную комбинацию радиационного, кондуктивного и конвективного теплообменов. И хотя множественными экспериментами было установлено, что основной вклад в теплоотдачу вносит излучение, а теплопотери за счет теплопроводности и конвекции пренебрежительно малы, для получения адекватных теплофизических характеристик материалов на основе микросфер необходимы четкие и корректные методики испытаний.

Необъяснимые факты — информация к размышлению

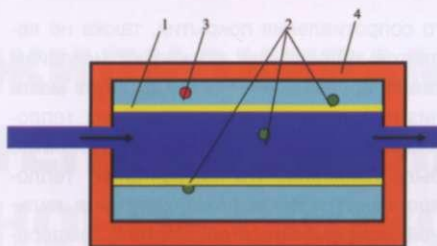
Однако существует ряд косвенных доказательств, подтверждающих теплоизолирующие свойства ЖКП. Это классический опыт с металлической кружкой, на одну половину которой нанесено покрытие. При наличии кипятка в этой кружке человек свободно держит ладонь с окрашенной стороны и обжигается при прикосновении к кружке с неокрашенной стороны. Однако такие «фокусы» однозначно не могут быть основанием для рекомендации применения ЖКП как теплоизоляционного материала в промышленных масштабах. Поэтому в ожидании строгих теорий механизмов теплопередачи и поиска унифицированных методик испытаний тонких изоляционных слоев, содержащих микросферы, многие разработчики и производители таких материалов прибегают к натурным сравнительным испытаниям.

Интересные данные по исследованию уровня теплопроводности ЖКП были получены специалистами НПП «Спецматериалы». Суть эксперимента заключалась в измерении температур поверхности теплоизолирующего слоя и окружающей среды на установке, изображенной на рисунке.

Для сравнительной оценки теплопроводности теплоизоляционного покрытия поступали следующим образом. Через трубу 1, предварительно обработанную теплоизоляционным покрытием и помещенную в изолированную камеру 4, обеспечивали с помощью термостата постоянную циркуляцию воды определенной температуры T_1 . Через 1 час измеряли температуру на поверхности теплоизоляционного покрытия (T_2) и в объеме камеры (T_3). В качестве

Таблица 1. Значения коэффициентов теплопроводности λ различных материалов

№ n/n	Материал	λ , Вт/м.°C	Метод определения
1	Вакуум	0	
2	Воздух	0,024—0,031	
3	Минвата	0,045	
4	Пенобетон	0,14—0,30	
5	Стекло	1	
6	Полимер	0,2—0,3	
7	Пеноизол	0,035	
8	Термо-Шилд	0,27	DIN 52616
9	Арктик Код	0,13—0,15	Стандарт ASTM C-177
10	Изоллат	0,002—0,007	Расчетный метод
11	Termal-Coat	0,001	Расчетный метод
12	TSM Ceramic	0,001—0,003	ГОСТ 7076-87
13	Термодон	0,01—0,02	ГОСТ 7076-87



1 — металлическая труба для теплоносителя со слоем теплоизоляционного покрытия; 2 — термопара для измерения температуры T_2 на поверхности теплоизоляционного покрытия; 3 — термопара для измерения температуры воздуха T_3 в изолированной камере 4.

Рис. Установка для изучения теплопроводящей способности теплоизоляционных материалов

теплоизолирующих материалов были испытаны ряд ЖКП — «Изолат», «Арктик Код» и «Термодон» (толщина 4 мм), а также теплоизоляционные плиты («Эндотерм 210104») и минераловатная теплоизоляция (толщина 20 мм). Данные измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения температур на поверхности теплоизолирующего слоя T_2 и в камере T_3 для теплоизоляционных материалов

№ п/п	Материал	$T_1 = 54^\circ\text{C}$			ΔT°	$T_1 = 74^\circ\text{C}$			ΔT°	$T_1 = 94^\circ\text{C}$			ΔT°
		$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$		$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$		$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	
1	—	53	51	1		73	70	1		93	92	1	
2	Термодон	42	40	11		50	49	24		65	64	29	
3	Изолат	42	40	11		53	52	21		69	67	25	
4	Арктик Код	48	47	6		62	62	12		78	78	16	
5	Плиты	41	40	13		50	49	24		63	62	31	
6	Минвата	39	38	15		51	48	23		61	59	33	

* $\Delta T = T_1 - T_2$

Анализ разности температур теплоносителя T_1 и температуры на поверхности испытуемого покрытия T_2 (табл. 2) позволяет сделать очень важный для практического использования ЖКП вывод: теплопроводность жидкокерамических покрытий «Термодон» и «Изолат» при толщине 4 мм сравнима с теплопроводностью минеральной ваты толщиной 20 мм, которая традиционно применяется на объектах теплоэнергетики, жилищно-коммунального хозяйства, строительства как испытанный теплоизоляционный материал.

Термоизолирующая эффективность ЖКП подтверждается и простым, на первый взгляд, экспериментом, проведенным на установке (рис.), который заключается в сравнении времени таяния кубика льда (t , с) размером 30×30×30 мм, помещенного на поверхность металлической трубы 1 без покрытия (№ 1, табл. 3), а также обработанной теплоизоляционными ЖКП «Термодон» и «Изолат» (№ 2 и 3, табл. 3) и теплоизоляционными плитами «Эндотерм 210104».

Данные табл. 3 демонстрируют, что, независимо от температуры теплоносителя,

Таблица 3. Время таяния льда (t , с) на поверхности теплоизолирующего слоя при разных температурах теплоносителя

№ п/п	Материал	Толщина покрытия, мм	$T_1 = 70^\circ\text{C}$		$T_2 = 95^\circ\text{C}$	
			t , с	g	t , с	g
1	—	—	180	1	90	1
2	Термодон	4	3240	18	1800	20
3	Изолат	4	3420	19	1740	19
5	Плиты	20	3580	20	1800	20

время таяния льда на теплоизоляционном покрытии увеличивается в 20 раз (величина g) по сравнению со временем таяния льда на металлической трубе, а теплоизоляционные параметры ЖКП «Термодон» и «Изолат» сравнимы с аналогичными показателями для теплоизоляционных плит.

Теплоизоляционные... и огнезащитные?

В рекламных материалах продавцов и производителей ЖКП эти покрытия часто позиционируются как «теплоизоляционные и огнезащитные». К заявлению об огнезащитных свойствах ЖКП следует под-

ходить с большой осторожностью, поскольку покрытие, содержащее в своем составе органический полимер и микросферы (типовая рецептура ЖКП), в лучшем случае, может выдержать нагревание в пределах 200°C , но вряд ли в течение ощутимого времени (предела огнестойкости) будет защищать строительные конструкции от воздействия огня. В открытой печати присутствует информация лишь о двух красках жидкокерамического типа: «Изолат» (Россия) для огнезащиты металлоконструкций и «Термодон» (Украина) для огнезащиты деревянных конструкций, огнезащитные свойства которых соответственно подтверждены Сертификатом пожарной безопасности РФ и Сертификатом соответствия Украины.

Огнезащита «Изолат» представляет собой сложную послойную комбинацию ЖКП, вспучивающейся огнезащитной краски и стеклохолста, которая при толщине 9 мм обеспечивает предел огнестойкости 90 мин., а при 13 мм — 120 мин. Принимая во внимание стоимость материалов, технологическую сложность работ по огнезащите (нанесение в 5—7 слоев), этот метод вряд ли можно назвать

экономически целесообразным и перспективным.

Огнезащитная краска на основе керамических микросфер «Термодон» (НПП «Спецматериалы», г. Донецк) обеспечивает I группу огнезащитной эффективности по ГОСТ 16363 при условии нанесения ее на древесину не менее 800 г/м^2 . Хотя этот материал при задекларированном расходе трудно назвать экономичным, его долговечность при сохранении огнезащитных свойств и физико-механических характеристик древесины в течение 15 лет позволяет рассматривать ЖКП как новый и перспективный способ огнезащиты.

Для придания ЖКП огнестойких (но не огнезащитных) свойств возможна его модификация как минимум двумя способами:

1) использование в качестве связующего в ЖКП термостойких кремнийорганических полимеров или минеральных алюмосиликатных клеев: при их соединении с микросферами можно получить огнезащитные обмазки с температурой деформации не ниже 900°C ;

2) добавление в ЖКП мощной антипиреновой системы, которая будет предохранять покрытие от возгорания.

Впрочем, наличие в покрытии большого количества наполнителей помимо микросфер приводит к резкому снижению уникальных теплоизоляционных свойств, присущих покрытиям жидкокерамического типа.

В части практического применения ЖКП позиционируются как теплоизоляционные, а также антикоррозионные и звукоизоляционные покрытия. Они используются:

- для теплоизоляции трубопроводов пара, горячей воды, водонагревательного оборудования котельных;
- для снижения тепловых потерь при капитальном строительстве и при реконструкции общественных и промышленных зданий;
- для борьбы с промерзанием стен жилых помещений;
- для предотвращения образования наледи и сосулек на крышах;
- для снижения затрат на охлаждение и предотвращения перегрева рефрижераторов и морозильных камер;
- для предохранения от коррозии и образования конденсата на поверхности стальных профилированных конструкций.

Несмотря на столь обширную практическую ценность ЖКП в народном хозяйстве, их уникальные свойства остаются одной из загадок теплофизики, решение которой требует систематического подхода с применением современных научных методов.