

УДК 536.2

## Применение тонкопленочных покрытий в целях энергосбережения

В.В. Бухмиров, А.К. Гаськов  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
г. Иваново, Российская Федерация  
E-mail: kafedra@tot.ispu.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** В настоящее время в целях энергосбережения применяют новые тонкопленочные покрытия, состоящие из полых микросфер в связующем вязком материале, которые имеют физические свойства красок, но с пониженным значением коэффициента теплопроводности. Известные в литературе данные о теплофизических свойствах данного энергосберегающего материала крайне противоречивы и значительно разнятся. Нет единого мнения и об области применения энергосберегающих красок на объектах строительства и ЖКХ. В связи с этим оценка величины коэффициента теплопроводности энергосберегающих красок в зависимости от их состава и температуры и исследование их поведения в реальных условиях эксплуатации являются весьма актуальной задачей, решение которой позволит повысить точность тепловых расчетов, а следовательно, и точность проектирования тепловой изоляции.

**Материалы и методы:** Экспериментальное исследование теплофизических свойств и поведения энергосберегающих тонкопленочных покрытий осуществлено на лабораторном стенде и в реальных условиях эксплуатации.

**Результаты:** Выполнена оценка величины коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски в зависимости от ее состава и температуры. Исследована эффективность применения энергосберегающих тонкопленочных покрытий в целях снижения потерь тепловой энергии трубопроводами с горячим теплоносителем и ограждениями зданий. Получена зависимость коэффициента теплопроводности энергосберегающих красок от их состава и температуры.

**Выводы:** Проведенные исследования позволяют сделать вывод об эффективности применения энергосберегающих красок в условиях повышенной влажности и в качестве тепловой изоляции при утеплении фасадов зданий.

**Ключевые слова:** энергосбережение, тонкопленочные покрытия, энергосберегающая краска, коэффициент теплопроводности, тепловой пункт, тепловая изоляция, утепление фасада, минеральная вата, тепловые потери.

## Application of thin-film coatings for energy saving

V.V. Bukhmirov, A.K. Gaskov  
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation  
E-mail: kafedra@tot.ispu.ru

### Abstract

**Background:** Nowadays, one of energy-saving measures is the use of new thin-film coatings consisting of hollow microspheres in a viscous coupler material and having physical properties of paints but a low thermal conductivity coefficient. The data about the thermophysical properties of this energy-saving material described in literature is extremely controversial and various. There is no consensus about the scope of application of energy-saving paints on construction and housing objects either. Therefore, the estimation of thermal conductivity coefficient of energy-saving paints depending on their composition and temperature and the study of their behavior in real-world conditions are very urgent problems. Their solution will improve the accuracy of thermal calculations and, consequently, the accuracy of thermal insulation design.

**Materials and methods:** The experimental study of thermophysical properties and behavior of energy-efficient thin-film coatings was conducted on a lab bench and in real-world conditions.

**Results:** The study included assessment of the thermal conductivity coefficient values of the energy saving paint depending on its composition and temperature. We investigated the efficiency of using energy-saving thin-film coatings to reduce heat energy losses in pipelines with hot coolants and enclosures of buildings. The work revealed a dependence of thermal conductivity coefficient of energy-saving paints on their composition and temperature.

**Conclusions:** The conducted analysis allows us to make a conclusion on the efficiency of using energy-saving paints in high humidity conditions and as thermal insulation of building facades.

**Key words:** energy saving, thin-film coatings, energy-saving paint, thermal conductivity coefficient, heat point, thermal insulation, facade insulation, mineral wool, heat losses.

**DOI:** 10.17588/2072-2672.2015.5.026-031

Снижение тепловых потерь является актуальной задачей повышения энергетической эффективности объектов генерации, передачи и потребления тепловой энергии. Для уменьшения потерь тепловой энергии используют

различные теплоизоляционные материалы, которые должны обладать рядом качеств – низкой теплопроводностью, малой поглощательной способностью влаги, низкой коррозионной активностью, механической прочностью

и др. [1–3]. В настоящее время на рынке теплоизоляционных материалов появился новый теплоизоляционный материал – тонкопленочные теплоизоляционные покрытия (энергосберегающие краски), содержащие в своем составе микросферы. Энергосберегающая краска – это эмульсия, состоящая из связующего компонента и микроскопических керамических или стеклянных пустотелых сфер диаметром 0,03–0,1 мм. Энергосберегающие краски обладают свойствами красок – защищают поверхность от воздействия окружающей среды, и свойствами тепловой изоляции – снижают тепловые потери за счет своей пористой структуры. К достоинствам энергосберегающих красок относят [4]:

- дешевизну компонентов, из которых их изготавливают;
- низкую стоимость покрасочных работ;
- высокую адгезию к любым материалам, кроме полиэтилена;
- механическую прочность;
- антигрибковые и противогрибковые свойства;
- влаго- и паронепроницаемость покрытия;
- устойчивость к ультрафиолетовому излучению;
- хорошую колеруемость пигментами.

**Исследование теплопроводности энергосберегающих красок.** Производители тонкопленочных теплоизоляционных покрытий (см., например, [5]) приводят значение коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски в интервале 0,001–0,012 Вт/(м·К). Однако ряд ученых в [6–9] утверждают, что коэффициент теплопроводности энергосберегающих красок значительно больше и лежит в интервале 0,02–0,12 Вт/(м·К). Такой широкий диапазон значений коэффициента теплопроводности энергосберегающих красок обусловлен, во-первых, количеством наполнителя и его структурой (количеством микросфер и их строением) и, во-вторых, составом связующего компонента.

Определим коэффициент теплопроводности энергосберегающей краски в зависимости от массового содержания полых стеклянных микросфер марки МС-В2Л производства НПО «Стеклопластик» (Московская обл.). Эксперимент выполнен на образцах энергосберегающей краски, произведенной на одном из предприятий химической промышленности г. Иваново, с массовым содержанием микросфер в связующем покрытии из акрила 8 %, 25 % и 32,6 % и в чисто акриловом покрытии без добавления микросфер. Толщина исследуемых образцов составила: 1,5 мм для связующего акрила с добавлением микросфер и 1 мм для чистого акрила. Заметим, что массовое содержание микросфер в связующем акриле 32,6 % является максимально возмож-

ным для данного типа связующего, так как увеличение концентрации микросфер приводит к браку продукции из-за образования комков микросфер в объеме акрила.

Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности тонкопленочных покрытий получены методом цилиндрического слоя в стационарном режиме теплопроводности на лабораторном стенде, разработанном на кафедре «Теоретические основы теплотехники» ИГЭУ [10]. Установка представляет собой толстостенный стальной цилиндр с наружным диаметром 245 мм, толщиной стенки 10 мм и длиной 630 мм, внутри которого установлены два электрических нагревателя, подключенных к электрической сети через автотрансформатор в целях регулировки потребляемой мощности. Для обеспечения равномерного теплообмена на поверхности рабочего участка и исключения конвективных потоков около электрических нагревателей внутри цилиндра его внутренняя полость засыпана керамзитом. Для исключения тепловых потерь боковая нерабочая и торцевые поверхности цилиндра покрыты тепловой изоляцией. Температура поверхности цилиндра измерена при помощи термопар, равномерно зачеканенных в 8 точках по окружности рабочего участка стенда.

Полоса из тонкой жести шириной 50 мм и толщиной 0,2 мм, на которую нанесена энергосберегающая краска, накладывается на рабочий участок экспериментальной установки. Термическим и контактным сопротивлением полосы из жести пренебрегаем, поэтому температура внутренней поверхности слоя исследуемого образца принималась равной средней температуре поверхности цилиндра и была найдена по показаниям термопар рабочего участка. Температура наружного слоя исследуемого образца определена при помощи 4 контактных термопар, накладываемых на испытуемый образец. Плотность теплового потока, проходящего через слой энергосберегающей краски, определена измерителем плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03/Х(1) «Поток» с относительной погрешностью измерения  $\pm 6\%$  и функцией автоматической фиксации показаний. Медь-константановые термопары (тип Т с погрешностью определения температуры  $\pm 1^\circ\text{C}$ ), при помощи которых была измерена температура внутренней и наружной поверхности энергосберегающей краски, подключены к накопителю данных ADAM-4000.

Выполнена серия экспериментов с различными значениями теплового потока, который рассчитывался по мощности электронагревателей. Мощность электронагревателей регулировалась напряжением, подаваемым от автотрансформатора в диапазоне от 5 до 65 В с шагом 15 Вольт. Метод цилиндрического слоя определения коэффициента теплопроводности относится к классу стационарных ме-

тодов. Стационарный режим теплопроводности в лабораторной установке наступал через 24 часа нагрева. Показания измерительных приборов фиксировались с интервалом 1 час в автоматическом режиме накопителем данных ADAM-4000 и ИТП-МГ4.03/Х(І) «Поток».

Статистическая обработка результатов эксперимента выполнена в программе Microsoft Excel. Коэффициент теплопроводности энергосберегающей краски найден решением обратной задачи теории теплопроводности по методу цилиндрического слоя. Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры и массового состава графически представлены на рис. 1, 2.

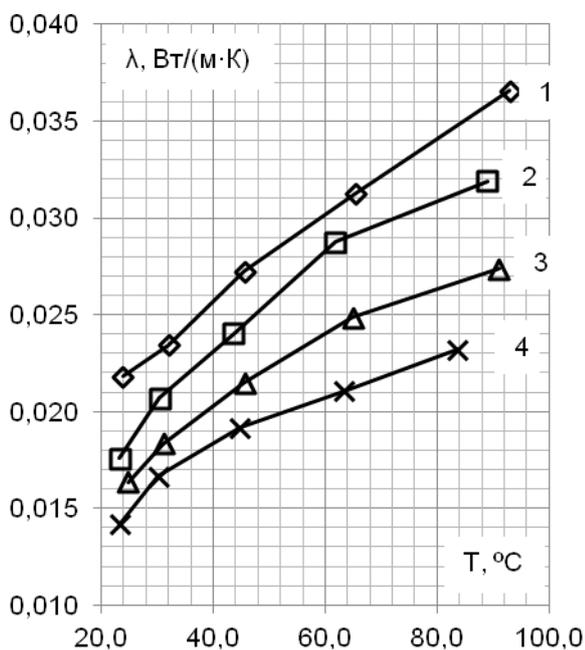


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски от температуры (цифрами показано массовое содержание микросфер в связующем акриле: 1 – 0 %; 2 – 8 %; 3 – 25 %; 4 – 32,6 %)

Анализ полученных результатов (рис. 1, 2) показывает, что коэффициент теплопроводности практически линейно увеличивается с ростом средней температуры исследуемого образца и уменьшается с увеличением содержания микросфер в связующем из акрила. Среднее значение коэффициента теплопроводности в интервале температур 20–100°С составило: для связующего акрила – ~0,028 Вт/(м·К); при 8 %-ном содержании микросфер в энергосберегающей краске – ~0,025 Вт/(м·К); при 25 %-ном содержании микросфер по массе – 0,022 Вт/(м·К); при 32,6 %-ном содержании микросфер – 0,019 Вт/(м·К).

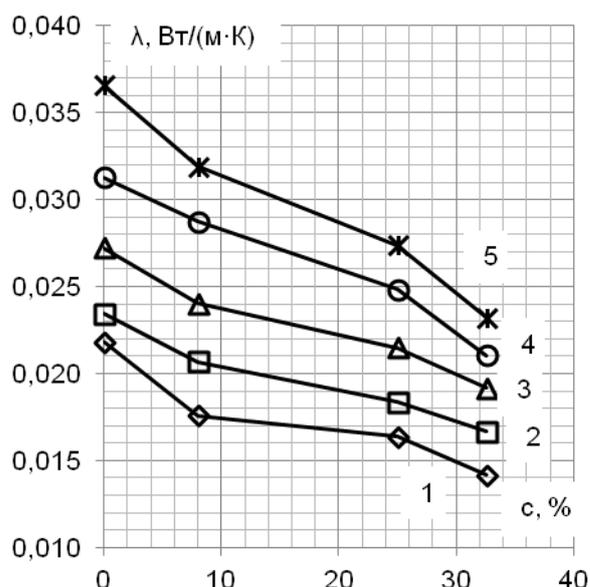


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски от массового содержания микросфер в связующем акриле (цифрами показана средняя температура образца: 1 – 23,8°С; 2 – 30,9 °С; 3 – 44,9 °С; 4 – 63,9°С; 5 – 89,1°С)

### Применение энергосберегающих красок в тепловых пунктах.

Уменьшение потерь тепловой энергии при транспорте теплоносителя, в качестве которого, как правило, используют горячую воду, является актуальной задачей повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения. Для снижения тепловых потерь используют различные виды тепловой изоляции на минеральной и органической основе. Материал, из которого изготовлена тепловая изоляция трубопроводов горячей воды должен обладать следующими основными качествами: низкой теплопроводностью, малым водопоглощением, низкой коррозионной активностью, высоким электрическим сопротивлением, механической прочностью. При этом, в зависимости от способа и места прокладки трубопроводов, к тепловой изоляции предъявляются разные требования: для трубопроводов котельных и ТЭС – это низкая теплопроводность и высокая температуростойкость; для трубопроводов подземной прокладки – во-первых, низкое водопоглощение, во-вторых, низкая теплопроводность. Эффективные теплоизоляционные материалы с высокой пористостью, легко впитывающие влагу из окружающей среды, не пригодны для трубопроводов подземной прокладки. Так, например, коэффициент теплопроводности минеральной ваты при объемной влажности 20 % в 3 раза выше, чем у сухой ваты с влажностью не более 0,5 % [3].

Тепловую изоляцию при подземной прокладке трубопроводов гидроизолируют специальными мастиками. Гидроизоляцией покрывают и наружную поверхность труб для исклю-

чения коррозии металла при возможном повреждении изоляционного покрытия.

Для исследования эффективности применения энергосберегающих красок проведена серия экспериментов по измерению температур и тепловых потоков на трубопроводах горячей воды, расположенных в тепловом пункте под проезжей частью дороги на пересечении ул. Калинина и ул. Фурманова г. Иваново.

Тепловой пункт предназначен для размещения запорной арматуры трубопроводов отопления и горячего водоснабжения. В тепловом пункте проходят два трубопровода прямой и обратной сетевой воды диаметром 219 мм и длиной 2300 мм. Тепловой пункт регулярно затапливается водой, проникающей через люки с проезжей части дороги и через каналы трубопроводов при авариях на магистралях. Из-за высокой обводненности грунта теплового пункта обслуживающий персонал, выполняющий оперативные переключения в системе теплоснабжения, использует трубопроводы в качестве трапов для прохода к запорной арматуре и, как следствие, к механическим повреждениям тепловой изоляции и ее гидроизоляционного слоя. Поэтому тепловая изоляция намокает, а повышенная влажность приводит к коррозии металла трубопроводов. Высокая влажность и механические нагрузки от действий обслуживающего персонала приводят к утрате теплоизоляционных свойств пористой изоляции, и поэтому ее применение становится нецелесообразным.

Для снижения коррозии металла и уменьшения тепловых потерь теплоносителя предложено покрыть трубопроводы в тепловом пункте энергосберегающей краской. Перед покраской трубопроводы были очищены от пыли и грязи при помощи металлической щетки. Покраска трубопроводов проводилась малярной кистью в два этапа: 1) нанесение грунтовочного слоя; 2) нанесение основного слоя энергосберегающей краски. Средняя толщина слоя краски, измеренная штангенциркулем, составила  $\delta_{кр} = 2,5 \pm 0,2$  мм.

Эффективность применения энергосберегающей краски определена сравнением температуры наружной стенки трубопроводов и тепловых потоков с их поверхности «до» и «после» покраски. Эксперименты выполнены при помощи измерителя плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03/Х(1) «Поток» с относительной погрешностью измерения плотности теплового потока  $\pm 6\%$  и абсолютной погрешностью измерения температуры  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ . Датчики измерения температур и тепловых потоков были установлены на предварительно очищенную от ржавчины поверхность трубопроводов при помощи медного провода и клейкой ленты. Измерения температур и тепловых потоков выполнены в два этапа: 1) на неокрашенных трубопроводах; 2) через три недели

после покраски. Между измерениями тепловой пункт и покрашенные трубопроводы были затоплены горячей водой из-за аварии на теплотрассе. Затопление трубопроводов не привело к разрушению слоя энергосберегающей краски, что характеризует стойкость данного вида покрытий к действию влаги. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерений до и после нанесения на трубопроводы энергосберегающей краски

Параметр		Ед. изм.	До	После
Температура поверхности трубопровода	Прямой	$^\circ\text{C}$	57,2	40,2
	Обратный		53,9	30,8
Плотность теплового потока с поверхности трубопровода	Прямой	$\text{Вт}/\text{м}^2$	817,8	470,6
	Обратный		629,6	230,3
Температура воды в трубопроводе (диспетчерские данные)	Прямой	$^\circ\text{C}$	70	74
	Обратный		61	47

Анализ результатов измерений показывает, что при использовании тонкопленочных покрытий происходит уменьшение тепловых потерь и снижение температуры поверхности окрашенных трубопроводов. Нанесение тонкопленочного покрытия уменьшило тепловые потери от прямого трубопровода на 42,5 %, а от обратного трубопровода на 63,4 %; снизило температуру поверхности прямого трубопровода на  $17^\circ\text{C}$ , обратного – на  $23,1^\circ\text{C}$ . По температуре и значению теплового потока рассчитано термическое сопротивление теплопередаче до и после нанесения энергосберегающего покрытия. Величина термического сопротивления теплопроводности энергосберегающей краски и измеренная толщина ее слоя позволили сделать оценку коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски. Среднее значение коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски составило  $0,0442 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Экспериментально найденный коэффициент теплопроводности энергосберегающей краски приблизительно равен коэффициенту теплопроводности сухой минеральной ваты ( $\lambda = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ), поэтому значения толщины энергосберегающей краски и минераловатной изоляции должны быть одного порядка, что экономически невыгодно. Однако в условиях повышенной влажности теплоизоляционные свойства минераловатных утеплителей резко уменьшаются и использование энергосберегающей краски становится экономически целесообразным энергосберегающим мероприятием.

**Применение энергосберегающих красок для утепления фасадов зданий.** Российская Федерация является одним из мировых лидеров по производству тепловой энергии, идущей на отопление зданий и строений. Однако удельные показатели потребления тепловой энергии на отопление, отнесенные к еди-

нице площади, в 2–3 раза больше, чем в странах Европы одной климатической зоны с Россией (Швеция, Норвегия, Финляндия). Потери тепла через стены оцениваются в 40–45 % от общих тепловых потерь помещения. Для индивидуальных жилищ эти потери в 2,5–4 раза выше, чем в помещениях многоэтажной застройки [2, 11, 12]. Поэтому повышение теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций зданий является актуальной задачей увеличения энергетической эффективности жилищно-коммунального хозяйства страны.

Для уменьшения потерь тепла через наружные ограждающие конструкции используют различные теплоизоляционные материалы, обладающие рядом отличительных свойств: коэффициент теплопроводности  $\lambda < 0,175 \text{ Вт/(м·К)}$  и плотность  $\rho < 500 \text{ кг/м}^3$ . Теплоизоляционные материалы классифицируют: по виду сырья, из которого они изготовлены; структуре материала; форме выпуска; плотности; теплопроводности; жесткости; огне- и влагостойкости; способу применения. По виду сырья теплоизоляционные материалы разделяют на органические (древесноволокнистые плиты, торфоплиты, камышит, эковата, пробка), неорганические (минеральная вата, стекловата, пено- и газбетон, пенопласты, пенополистирол), а также композитные, сочетающие в своем составе органические и неорганические наполнители.

В настоящее время на рынке теплоизоляционных материалов представлен широкий ассортимент продукции, основная доля которых (~97 %) приходится на неорганические материалы, в том числе: минераловатные утеплители – 70 %, пенопласты – 20 % [2]. Утепление наружных ограждающих конструкций зданий минеральной ватой и пенопластом проводится в основном по двум технологиям: а) навесного «вентилируемого» фасада – между слоем тепловой изоляции, наносимой на поверхность стен, и облицовкой фасада остается воздушный вентиляционный зазор; б) «мокрого» фасада – стены утепляются плитами теплоизоляционного материала с последующим оштукатуриванием поверхности.

В настоящее время появился новый способ по утеплению зданий – окраска стен тонкопленочной теплозащитной краской с наполнителем из полых микросфер. Достоинствами данной технологии являются: дешевизна материала и работ; отсутствие необходимости проектных изысканий; высокие влагозащитные свойства краски, а также эстетичный облик окрашенных стен. Недостатком же данной технологии являются относительно низкие показатели тепловой защиты [13].

В целях определения теплофизических свойств энергосберегающих покрытий и сравнения их теплозащитных свойств был создан полномасштабный исследовательский полигон на частном жилом доме в Ивановской области

для проведения натуральных экспериментов. Полигон представляет собой предварительно оштукатуренный цементным раствором толщиной 1 см участок стены жилого дома, разделенный на зоны с нанесенными на них различными видами тепловой изоляции. Каждая зона стены представляет собой прямоугольник высотой 3,9 м и шириной 2 м.

Для сравнения теплозащитных свойств выбраны следующие виды энергосберегающих покрытий:

а) тепловая изоляция, выполненная по технологии «мокрого» фасада из негорючих, гидрофобизированных теплозвукоизоляционных плит минеральной ваты на основе горных пород базальтовой группы ( $\delta = 100 \text{ мм}$ ,  $\lambda = 0,038\text{--}0,042 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $\rho = 131\text{--}135 \text{ кг/м}^3$ ). Выбор этого вида тепловой изоляции обусловлен наибольшей распространенностью данной технологии на рынке материалов и изоляционных работ. По данной технологии также был теплоизолирован угол здания, примыкающий к полигону, для исключения поперечных тепловых потоков в кирпичной кладке;

б) тепловая изоляция, выполненная путем окраски стены теплозащитной краской слоями в 1 мм и 3 мм. Для обеспечения равномерности слоев теплоизоляционного материала окраска оштукатуренной стены велась машинным способом.

В ходе проведения эксперимента измерены следующие параметры: а) тепловые потоки (при помощи измерителя теплового потока ИТП-МГ-10 «Поток»); б) температуры поверхностей каждого вида тепловой изоляции (при помощи контактных датчиков температуры ИТП-МГ-10 «Поток», поверхностным зондом пирометра «Thermopoint» и бесконтактным способом тепловизором «NEC» и пирометром «Thermopoint»). В табл. 2, 3 представлены некоторые данные, полученные в ходе эксперимента.

Таблица 2. Тепловые потоки при применении различных видов теплоизоляционных материалов, Вт/м<sup>2</sup>

Вид тепловой изоляции	Температура наружного воздуха, °С		
	–17,8	–16,1	–15,3
Кладка из силикатного кирпича	20,1	10,5	31,9
Цементная штукатурка	31,7	7,4	34,2
Теплозащитная краска ( $\delta = 3 \text{ мм}$ )	33,4	10,3	30,6
Теплозащитная краска ( $\delta = 1 \text{ мм}$ )	32,1	12,0	35,1
Тепловая изоляция по технологии «мокрого» фасада	6,8	7,4	9,4

Таблица 3. Температуры наружной поверхности различных видов теплоизоляции, °С

Вид тепловой изоляции	Температура наружного воздуха, °С		
	-17,8	-16,1	-15,3
Кладка из силикатного кирпича	-15,2	-14,0	-11,9
Цементная штукатурка	-15,5	-13,7	-11,4
Теплозащитная краска ( $\delta = 3$ мм)	-16,5	-14,3	-12,1
Теплозащитная краска ( $\delta = 1$ мм)	-16,0	-13,7	-11,4
Тепловая изоляция по технологии «мокрого» фасада	-16,8	-13,9	-14,7

Анализ полученных данных о тепловых потоках и температурах поверхностей материалов показал, что наиболее эффективным с точки зрения энергетической эффективности является тепловая изоляция из минераловатных плит, так как она создает наибольшее сопротивление теплопередаче.

### Заключение

Среднее значение коэффициента теплопроводности энергосберегающей краски на основе связующего из акрила в интервале температур 20–100 °С лежит в пределах 0,019–0,028 Вт/(м·К), в зависимости от массовой доли содержания микросфер.

Коэффициент теплопроводности энергосберегающей краски практически линейно увеличивается с ростом температуры и уменьшается с увеличением содержания микросфер в связующем из акрила.

Энергосберегающую краску целесообразно использовать в качестве тепловой изоляции трубопроводов в тепловых пунктах, эксплуатирующихся в условиях повышенной влажности. При этом тонкопленочное покрытие одновременно выполняет и функцию гидроизоляции.

Применение энергосберегающих красок для утепления фасадов зданий эффективно только при совместном использовании с другими видами классической тепловой изоляции.

### Список литературы

1. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учеб. для средних профессионально-технических учебных заведений / Ю.Л. Бобров, Е.Г. Овчаренко, Б.М. Шойхет, Е.Ю. Петухова. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
2. Игнатова О.А. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2 ч. Ч. 2. Тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования. – М.: Изд. центр «Академия», 2012. – 288 с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов. – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
4. Антонова А.М., Воробьев А.В., Ляликов Б.А. К выбору материалов для нетрадиционной тепловой изоляции оборудования ТЭС и АЭС // Энергетика: экология,

надежность, безопасность: материалы XIV Всерос. науч.-техн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 289 с.

5. Бояринцев А.В. Тепло, сохраненное КОРУНДом // Кровельные и изоляционные материалы. – 2010. – № 4. – С. 10–11.

6. Образцов Д.В., Фокин В.М. Исследование прочностных и теплофизических свойств наномодифицированных строительных и теплозащитных материалов // Вестник ТГТУ. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 1051–1061.

7. Кисляк С.М., Сеначин П.К. Исследование теплозащитных свойств теплоизоляционного покрытия Re-Therm // Ползуновский вестник. – 2014. – № 1. – С. 64–67.

8. Губинский М.В., Затопляев Г.М., Радченко Р.Ю. Исследование теплофизических свойств керамического жидкого теплоизоляционного покрытия // Технічна теплофізика та промислового теплоенергетика: збірник наукових праць. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2011. – Вип. 3. – С. 94–101.

9. Бухмиров В.В., Гаськов А.К., Орищенко Е.А. Исследование энергосберегающих покрытий // Состояние и перспективы развития электротехнологий: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практич. конф. (XVI Бенардосовские чтения). – Иваново, 2011. – Т. 2. – С. 164–165.

10. Гаськов А.К., Бухмиров В.В. Экспериментальный стенд для определения коэффициента теплопроводности // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тез. докл. XIX Междунар. науч.-техн. конф. студ. и асп. В 4 т. Т. 4. – М.: Изд. дом МЭИ, 2013. – 334 с.

11. Завадский В.Ф. Технология изоляционных строительных материалов и изделий. В 2 ч. Ч.1. Стеновые материалы и изделия: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования. – М.: Изд. центр «Академия», 2012. – 192 с.

12. Данилова О.Л. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / под ред. О.Л. Данилова, П.А. Костюченко. – М., 2006. – 668 с.

13. Бухмиров В.В., Гаськов А.К., Чугунова А.Н. Сравнение способов утепления фасадов зданий: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых «Энергия-2013»: в 7 т. Т. 1, ч. 2. – Иваново, 2013. – С. 86–88.

### References

1. Bobrov, Yu.L., Ovcharenko, E.G., Shoykhet, B.M., Petukhova, E.Yu. *Teploizolyatsionnye materialy i konstruktsii* [Thermal insulation materials and designs]. Moscow, INFRA-M, 2003. 268 p.
2. Ignatova, O.A. *Tekhnologiya izolyatsionnykh stroitel'nykh materialov i izdeliy: v 2 ch., ch. 2. Teplo- i gidroizolyatsionnye materialy i izdeliya* [Technology of insulation construction materials and products. In 2 parts. Part 2. Thermal- and hydro-insulation materials and products]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2012. 288 p.
3. Sokolov, E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti* [District heat supply and heat networks]. Moscow, Izdatel'stvo MEI, 2001. 472 p.
4. Antonova, A.M., Vorob'ev, A.V., Lyalikov, B.A. K vyboru materialov dlya netraditsionnoy teplovoy izolyatsii oborudovaniya TES i AES [The choice of materials for non-traditional thermal insulation of thermal and nuclear power plants equipment]. *Materialy XIV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energetika: ekologiya, nadezhnost', bezopasnost'»* [Proceedings of the XIVth All-Russia scientific and technical conference «Power engineering: ecology, reliability, safety»]. Tomsk, Izdatel'stvo TPU, 2008. 289 p.
5. Boyarintsev, A.V. *Teplo, sokhranennoe KORUNDOM* [Corundum-saved heat]. *Krovel'nye i izolyatsionnye materialy*, 2010, no. 4, pp. 10–11.
6. Obratstov, D.V., Fokin, V.M. Issledovanie prochnostnykh i teplofizicheskikh svoystv nanomodifitsirovannykh stroitel'nykh i teplozashchitnykh materialov [A study of strength and thermophysical properties of nano-modified construction and thermal-protection materials]. *Vestnik TGTU*, 2012, vol. 18, no. 4, pp. 1051–1061.
7. Kislyak, S.M., Senachin, P.K. Issledovanie teplozashchitnykh svoystv teploizolyatsionnogo pokrytiya Re-Therm

[A study of heat-shielding properties of Re-Therm coating]. *Polzunovskiy vestnik*, 2014, no. 1, pp. 64–67.

8. Gubinskiy, M.V., Zatoplyayev, G.M., Radchenko, R.Yu. Issledovanie teplofizicheskikh svoystv keramicheskogo zhidkogo teploizolyatsionnogo pokrytiya [A study of thermophysical properties of liquid ceramic insulation coatings]. *Zbirnik naukovikh prats' «Tekhnichna teplofizika ta promislava teploenergetika»*. [Collected scientific works «Technical thermophysics and industrial thermal power engineering»]. Dnipropetrovs'k, Nova ideologiya, 2011, issue 3, pp. 94–101.

9. Bukhmirov, V.V., Gas'kov, A.K., Orishchenko, E.A. Issledovanie energosberegayushchikh pokrytiy [A study of energy saving coatings]. *Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sostoyaniya i perspektivy razvitiya elektrotekhnologiy» (XVI Benardosovskie chteniya)* [Collected scientific works of the international scientific and practical conference «Status and development prospects of electrical technologies»]. Ivanovo, 2011, vol. 2, pp. 164–165.

10. Gas'kov, A.K., Bukhmirov, V.V. Eksperimental'nyy stand dlya opredeleniya koeffitsienta teploprovodnosti [Experimental bench for determination of thermal conductivity factor]. *Tezisy dokladov XIX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov: Radioelektronika, elektro-*

*tekhnika i energetika v 4 t., t. 4* [Radio electronics, electrical engineering and power engineering: abstracts of the XIXth international scientific and technical conference of students and post-graduate students. In 4 vol., vol. 4]. Moscow, Izdatel'skiy dom MEI, 2013. 334 p.

11. Zavadskiy, V.F. *Tekhnologiya izolyatsionnykh stroitel'nykh materialov i izdeliy v 2 ch., ch. 1 Stenovye materialy i izdeliya* [Technology of insulation materials and products. In 2 parts. Part 1. Wall materials and products: a study-guide for students of higher professional educational institutions]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2012. 192 p.

12. Danilova, O.L. *Prakticheskoe posobie po vyboru i razrabotke energosberegayushchikh proektov* [Practical guide for selecting and developing energy efficiency projects]. Moscow, 2006. 668 p.

13. Bukhmirov, V.V., Gas'kov, A.K., Chugunova, A.N. Svravnenie sposobov utepleniya fasadov zdaniy [Comparison of thermal insulation methods of building facades]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Energiya-2013»: v 7 t., t. 1, ch. 2* [Proceedings of the VIII<sup>th</sup> international scientific and technical conference of students, post-graduate students and young scientists «Energy-2013»]. Ivanovo, 2013, pp. 86–88.

*Бухмиров Вячеслав Викторович,*

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ теплотехники,  
e-mail: kafedra@tot.ispu.ru

*Гаськов Александр Константинович,*

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант кафедры теоретических основ теплотехники,  
телефон (4932) 26-97-76.