



УДК 697.9

Хабибуллин Ю.Х. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: a0an@mail.ru

Барышева О.Б. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: obbars@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Разработка теплоизолирующих покрытий и методики определения их теплофизических свойств

Аннотация

Экономия энергоресурсов – это одно из важнейших условий развития страны. Создание новых теплоизоляционных материалов – приоритетный путь в решении задачи энергосбережения. При разработке таких материалов необходима оценка их теплофизических характеристик. Также в современных условиях энергосбережение является основной задачей. Одним из путей экономии энергоресурсов является создание новых теплоизоляционных материалов.

В работе предложен метод расчета теплозащитных свойств энергосберегающих материалов.

Ключевые слова: энергосбережение, теплоизоляция, минеральные микросферы, теплотехнические свойства, ресурсы.

В последнее десятилетие в нашей стране проблеме энергосбережения стало уделяться особое внимание. Россия – это северная страна, характеризующаяся пониженной по сравнению с Европой годовой температурой, и, как следствие, увеличенной длительностью отопительного сезона в среднем более 200 дней. Кроме того, в стране эксплуатируется значительный процент устаревшего оборудования, так только при транспортировке по изношенным трубопроводам систем теплоснабжения страна теряет пятую часть от общего расхода топлива в год, направленного на теплоснабжение [1]. Одним из путей повышения энергоресурсоэффективности зданий, сооружений и трубопроводов является использование эффективной тепловой изоляции.

В конце XX века появились новые теплоизоляционные покрытия на основе минеральных и синтетических микросфер, обладающие ценными свойствами. В основном используются воздушнонаполненные микросферы, но также освоено производство газонаполненных и вакуумированных микросфер [2-5].

В приведенной работе рассматривается энергосберегающая композиция, наполненная микросферами, которая может использоваться в качестве теплоизоляционного и антикоррозионного покрытия трубопроводов систем отопления, горячего водоснабжения и т.д. [6].

Предлагаемый состав включает в себя эпоксидную смолу, отверждаемую аминным отвердителем. В качестве эластификатора используется реакционноспособный каучук. Для повышения огнестойкости в состав добавляют слюду мусковит.

Для энергосберегающего покрытия композицию готовят следующим образом. Сначала тщательно перемешивают эпоксидную смолу с реакционноспособным каучуком. Далее в состав добавляют полые микросферы и снова перемешивают. Затем тщательно перемешивают слюду мусковит с отвердителем. Созданную смесь совмещают с наполненной микросферами эпоксидно-каучуковой композицией, перемешивают и наносят на предварительно подготовленную поверхность.

Наполненные керамическими или стеклянными микросферами покрытия обладают высокой способностью отражения и рассеивания падающего на поверхность излучения.

В исходном состоянии покрытие представляет собой густую текучую композицию из эпоксидной смолы, отвердителя, слюды мусковит и жидкого каучука, в которой находятся заполненные разреженным газом или воздухом минеральные микросферы.

Важно отметить, что в процессе приготовления состава растворители не используются, поэтому при нанесении покрытия, специальных мер безопасности не требуется, что имеет большое значение при работе в закрытых помещениях.

После нанесения состава на защищаемую поверхность в процессе реакции поликонденсации образуется прочный эластичный полимерный каркас, в котором структурированы минеральные микросферы, обладающие высоким термическим сопротивлением. В итоге формируется высокопрочное эластичное, не пропускающее влагу покрытие, блокирующее все виды теплопередачи.

Теплоизоляционные свойства такого покрытия обеспечиваются наличием в нем среды с низким значением коэффициента теплопроводности (разреженного газа или вакуума). При этом, связующее и материал стенок микросфер имеют достаточно высокий коэффициент теплопроводности. Для улучшения теплоизоляционных свойств покрытия необходимо максимально увеличить концентрацию микросфер в составе покрытия.

Оптимальная прочность покрытия обеспечивается при концентрации микросфер от 50 до 100 масс. частей, однако при повышенных требованиях к механической прочности объемная концентрация микросфер может быть снижена.

Исследования показали, что при диаметре микросфер менее 40 мкм теплоизоляционные свойства покрытия ухудшаются. Это происходит ввиду увеличения количества «тепловых мостиков», которые образуются близко расположенными друг к другу стенками микросфер, имеющими низкое термическое сопротивление.

В случае увеличения диаметра микросфер более 120 мкм также снижаются теплоизоляционные характеристики покрытия, обусловленные на этот раз повышением объемной концентрации полимера.

Также установлено, что наполнение полыми микросферами фракций 40-120 мкм значительно повышает химическую стойкость и атмосферную устойчивость покрытия, что, очевидно, связано с уменьшением доли полимера в покрытии.

Следует отметить, что форма покрытия повторяет форму поверхности, на которую наносится состав и за счет высоких адгезионных свойств предотвращается образование зазоров между защищаемой поверхностью и покрытием. Эти зазоры могут заполняться влагой за счет капиллярной конденсации, приводя тем самым к коррозии и разрушению защищаемого материала.

Таким образом, предлагаемое покрытие обладает высокими теплоизоляционными, прочностными, огнезащитными и антикоррозионными свойствами, что позволяет применять его для защиты трубопроводов и воздухопроводов в системах отопления и вентиляции.

Несмотря на большое количество работ, в которых исследуется теплопроводность различных теплоизоляционных материалов, опубликованные данные имеют существенные различия значений теплотехнических параметров даже для одних и тех же покрытий [7].

В действующих стандартах РФ описано нахождение коэффициентов теплопроводности теплозащитных покрытий и условия их определения. Таким образом, замеры осуществляются путем измерения характеристик плоских образцов в стационарном температурном поле при комнатной температуре. А это не соответствует условиям эксплуатации и приводит к погрешностям в оценке коэффициента теплопроводности.

При тепловом режиме (стационарные условия) метод определения коэффициента теплопроводности и термического сопротивления требует выполнения следующего условия:

$$d \leq l/5, \quad (1)$$

где l – длина ребра лицевой грани, d – толщина слоя теплоизоляционного материала.

Коэффициент теплопроводности определяется формулой [8]:

$$l_{эфф} = d \cdot q / (T_1 - T_2), \quad (2)$$

где T_1 – температура горячей лицевой грани испытуемого материала, К; T_2 – температура холодной лицевой грани испытуемого материала, К; q – плотность теплового потока, Вт/м².

Запишем закон Фурье, на котором базируется зависимость (2):

$$Q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} F, \quad (3)$$

где n – нормаль к поверхности; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · К); F – площадь поверхности, м².

Запишем дифференциальное уравнение теплопроводности (для одномерного температурного поля):

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{i-1}{2} \frac{\partial t}{\partial r} = 0, \quad (4)$$

где $i = 1, 2, 3$ – для пластины, цилиндра и шара соответственно; r – текущая координата.

Отсюда решением уравнения (4) для неограниченной плоской стенки является зависимость (2).

Допущения к уравнению (4):

- оно справедливо для тел, физические свойства которых не являются функцией от температуры;

- материал образца должен быть однородным;

- тепловой поток обязательно должен быть направлен перпендикулярно к лицевой грани испытуемого образца материала;

- испытуемый образец должен подходить под определение – «неограниченная плоская стенка».

При определении коэффициента теплопроводности на плоском образце без подогретой охранной зоны на боковых гранях, в реальности, получаются большие погрешности в полученных значениях.

Зависимость (2) справедлива в том случае, когда средняя температура испытуемого образца приблизительно равна температуре окружающей среды. В реальных условиях температура теплоносителя тепловых водяных сетей составляет 50-180 °С, а разность температур между стенками трубопроводов и окружающей среды достигает 200 °С.

Использование для определения коэффициента теплопроводности образцов цилиндрической формы позволяет создавать существенный перепад между температурами стенки и окружающей среды, поскольку в слое теплоизоляции на криволинейных поверхностях характер распределения температуры в слое не является линейным [8].

Увеличение данного температурного перепада приводит к значительному повышению точности определения коэффициента теплопроводности теплозащитных материалов и дает возможность смоделировать условия, близкие к реальным.

Потери тепла через боковые грани плоского образца без подогретой охранной зоны существенно больше, чем на образце цилиндрической формы и достигают 20 %.

Образец цилиндрической формы для определения коэффициента теплопроводности энергосберегающего покрытия трубопроводов является наиболее предпочтительным для исследования свойств.

Для цилиндрической стенки уравнение (4) записывается в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{dt}{dr} \right) = 0. \quad (5)$$

Интегрируя это выражение находим:

$$T = c_1 \ln r + c_2. \quad (6)$$

Постоянные c_1 и c_2 можно найти из граничных условий I-го рода:

$$T(r) \Big|_{r=r_1} = T_1 \text{ и } T(r) \Big|_{r=r_2} = T_2, \quad (7)$$

где r_1 – радиус наружной поверхности слоя теплоизоляции; r_2 – радиус внутренней поверхности слоя теплоизоляции; r – текущий радиус ($r_1 \leq r \leq r_2$); T_1 – температура наружной поверхности слоя теплоизоляции, К; T_2 – температура внутренней поверхности слоя теплоизоляции, К.

Далее находим:

$$T = T_1 - (T_2 - T_1) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (8)$$

Полученное выражение представляет собой уравнение логарифмической кривой, т.е. распределение температуры в слое теплоизоляции является криволинейным.

Из закона Фурье следует:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dr} = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (9)$$

В итоге, коэффициент теплопроводности образца теплоизоляции цилиндрической формы можно найти по формуле:

$$\lambda = q \frac{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}{(T_1 - T_2)}. \quad (10)$$

Известно, что толщина теплоизоляции и количество ее слоев сказывается на ее термическом сопротивлении.

Для однослойной цилиндрической изоляции:

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{q} = \frac{r_1}{\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (11)$$

Для многослойной изоляции:

$$R = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{q} = \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}. \quad (12)$$

Для реализации методики необходима разработка и изготовление опытной установки.

В итоге, предложен метод расчета коэффициента теплопроводности и термического сопротивления энергосберегающих покрытий.

Список библиографических ссылок

1. Матросов Ю.А. Энергосбережение в зданиях. – М: НИИСФ, 2008. – 496 с.
2. Пат. 2382803 Российская Федерация МПК С09 D5/08. Краска-покрытие термо-огне-атмосферостойкое / Бондарчук Б.В.; заявитель и патентообладатель Бондарчук Б.В. – № 2008133374/04; заявл. 14.08.2008; опубл. 27.02.2010.
3. Пат. 2374281 Российская Федерация МПК С09 D5/08, С09 D5/02, С09 D 167/00. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер/ Воробьев Е. Н.; заявитель и патентообладатель Воробьев Е.Н. № 2008133899/04; заявл. 18.08.2008; опубл. 27.11.2009.
4. Пат. 2351624 Российская Федерация МПК С09 D5/08, С09 D163/02. Полимерная композиция для защитного антикоррозионного покрытия барьерного типа/ Комаров М.А., Перепечин С.К., Ревенко В.В.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Базальтопластик». № 2007123764/04; заявл. 26.06.2007; опубл. 10.04.2009.
5. Пат. 2311397 Российская Федерация МПК С04 В41/48, С09 D5/18, С09 D109/04, С09D113/02. Состав для получения теплозащитного покрытия / Самсоненко С.Т.; заявитель и патентообладатель ООО «Дуайт». – № 2005140309/03; заявл. 23.12.2005; опубл. 27.11.2007.
6. Пат. 2522008 Российская Федерация МПК С09 D163/02. Композиция для получения энергосберегающих покрытий / Хабибуллин Ю.Х.; заявитель и патентообладатель Хабибуллин Ю.Х. № 2012152595/05; заявл. 06.12.2012; опубл. 10.07.2014.
7. Богословский В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства. Кн. 1. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
8. Исаченко В.П. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

Khabibullin Iu.Kh. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: a0an@mail.ru

Barysheva O.B. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: obbars@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Development of thermal insulation coatings and methods for determining their thermal properties

Resume

In the work above, we consider energy-saving composition filled with microspheres that can be used as an anti-corrosion and heat-insulating coating of pipelines for heating and hot water, as well as duct systems of air heating and ventilation.

Proposed composition includes an epoxy resin, an amine-curable hardener. As the reactive rubber impact modifier is used. To improve the fire resistance of the added muscovite mix. In the initial state, the dense fluid composition comprising an epoxy resin, a hardener, muscovite mica and a liquid rubber, which are filled with air or rarefied gas mineral microspheres.

After applying the composition on the surface to be protected during the poly condensation reaction forming a solid flexible polymeric backbone, wherein the structured mineral microspheres having a high thermal resistance. It is results in high strength elastic don't absorb moisture coating that blocks all kinds of heat transfer.

Insulating properties of the coating provided by the presence in it of the medium with a low coefficient of thermal conductivity (dilute gas or vacuum). Thus, the binder material and the walls of the microspheres have a sufficiently high thermal conductivity.

We present a method for calculating the thermal conductivity and thermal resistance of the energy-saving coatings.

Keywords: energy efficiency, thermal insulation, mineral microspheres, thermal properties, resources.

Reference list

1. Matrosov Yu.A. Energysavings in buildings. – M.: NIISF, 2008. – 496 p.
2. Pat. 2382803 Russian Federation IPC C09 D5/08. Paint-coating thermal heat-weatherproof / Bondarchuk B.V.; applicant and patentee Bondarchuk B.V. № 2008133374/04; appl. 14.08.2008; publ. 27.02.2010.
3. Pat. 2374281 Russian Federation IPC C09 D 5/08, C09 D5/02, C09 D167/00. Corrosion-resistant and heat-insulating coating on the basis of hollow microspheres / Vorobiev E.N.; applicant and patentee Vorobiev E.N. № 2008133899/04; appl. 18.08.2008; publ. 27.11.2009.
4. Pat. 2351624 Russian Federation IPC C09 D 5/08, C09 D163/02. The polymer composition for protective anti-corrosion coating, barrier-type / Komarov M.A., Perepechin S.K., Revenco V.V.; applicant and patentee of JSC «Basalt». № 2007123764/04; appl. 26.06.2007; publ. 10.04.2009.
5. Pat. 2311397 Russian Federation IPC C04 B41/48, C09 D5/18, C09 D109/04, C09D113/02. Composition for a thermal barrier coating / Samsonenko S.T.; applicant and patentee Ltd. «Dwight». № 2005140309/03; appl. 23.12.2005; publ. 27.11.2007. Patent of Russian Federation № 2382803 from 27.02.2010.
6. Pat. 2522008 Russian Federation IPC C09 D163/02. Composition for energy-saving coatings / Khabibullin Y.Kh.; applicant and patentee Khabibullin Y.Kh. № 2012152595/05; appl. 06.12.2012; publ. 10.07.2014.
7. Bogoslovsky V.N. Internal sanitary engineering devices. Book 1. – M.: Stroyizdat, 1992. – 319 p.
8. Isachenko V.P. Heat transfer. – M.: Energoizdat, 1981. – 416 p.