

## Исследование физико-механических свойств полимерного теплоизоляционного покрытия пониженной плотности

*Е.А. Павлычева*

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Владимир*

**Аннотация:** Представлены результаты исследования разработки полимерного теплоизоляционного покрытия для изоляции нагретых металлических поверхностей промышленного и инженерного оборудования, промышленных установок, строительных конструкций, рабочих поверхностей трубопроводов, эксплуатируемых при невысоких (до 100<sup>0</sup>С) температурах. Покрытие разработано на основе полимерного связующего, представляющего собой смесь бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера, полых углеродных микросфер, пигмента и воды. Применение полых углеродных микросфер в данном покрытии в качестве наполнителя в количестве 20,0 - 30,0 мас.ч. снижает теплопроводность покрытия, по сравнению с известными, содержащими полые стеклянные или керамические микросферы.

**Ключевые слова:** теплоизоляционное покрытие, полимерное связующее, полые углеродные микросферы, теплопроводность, прочность при разрыве

### Введение

Покрытия, наносимые на поверхности различных строительных конструкций, технологического оборудования и трубопроводных систем выполняют одну или сразу несколько функций, к которым относятся улучшение внешнего вида, защита от внешних воздействий (влаги, агрессивных веществ, ультрафиолета, механических воздействий и т.д.), снижение тепловых потерь, а также придание электроизоляционных или токопроводящих, антифрикционных и других свойств [1-3]. В зависимости от назначения покрытия, а также формы, площади и материала покрываемой поверхности для создания покрытий применяются различные материалы, среди которых наиболее распространены металлические, глазурованные, эмалированные, лакокрасочные и полимерные покрытия [4-6].

Для обеспечения теплоизоляционных свойств наиболее эффективно применение материалов на полимерной основе [7, 8], среди которых в качестве теплоизоляционных покрытий наибольший интерес представляют

полимерные композиции, наполненные полыми микросферами из различных материалов [9-11]. Наличие микросфер в полимерной матрице способствует тому, что наполненные композиционные материалы приобретают такие свойства, как низкая теплопроводность, хорошие физико-механические свойства и невысокая плотность [12-14]. Особенно важны эти свойства при разработке полимерных теплоизоляционных покрытий [7, 15]. В зависимости от того, какие эксплуатационные и технические характеристики хотят придать теплоизоляционному полимерному покрытию, для каких целей предполагается его использовать, и на какую поверхность наносить, в качестве связующего могут применяться различные полимеры и реакционноспособные олигомеры [16-18].

Особый интерес представляют полиакриловые связующие, характеризующиеся хорошими адгезионными свойствами, устойчивостью к температурному воздействию до  $100^{\circ}\text{C}$ , светостойкостью, экологической безопасностью, возможностью отверждения при комнатной температуре. Однако полиакриловые связующие обладают недостаточно высокими прочностными характеристиками [19] и малой поверхностной прочностью [20], поэтому актуальным будет возможность получения связующего из смеси акрилового полимера и полимерного материала с высокими механическими характеристиками. В этом случае интерес представляет смесь а основе акриловых полимеров и каучуков, так как каучуки характеризуются высокой эластичностью и прочностью.

Целью данного исследования является разработка оптимального состава полимерной композиции, содержащей в качестве связующего смесь бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера, полые углеродные микросферы, пигмент и воду, для получения покрытия, обладающего высокими теплоизоляционными и прочностными характеристиками.

---

### Материалы и методы исследования

Для получения теплоизоляционного полимерного покрытия в качестве связующего была использована смесь бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера, причем количество каучука в смеси составляло 30 мас. % от общего количества связующего.

В качестве бутадиен-стирольного каучука использовали каучук марки СКС-10, полученный из бутадиена-1,3 и стирола методом эмульсионной сополимеризации. Молекулярная масса бутадиен-стирольного каучука составляет 150000-300000. В качестве акрилового полимера использовали полиметилакрилат – гомополимер метилового эфира акриловой кислоты. В качестве полых микросфер использовались полые углеродные микросферы, полученные путем пиролиза фенолформальдегидных полых микросфер в среде аргона при температуре 1200<sup>0</sup>С в течение 4 часов. Полученные микросферы имели размер от 20 до 100 мкм. В качестве пигмента использовали двуокись титана марки Р-02 (ГОСТ 9808-84).

Свойства получаемого на основе исследуемой полимерной композиции покрытия определяли по стандартным методикам: теплопроводность определяли по ГОСТ 23630-79, предел прочности на разрыв – по ГОСТ 18299-72.

Полимерные композиции для получения образцов теплоизоляционного покрытия готовили путем смешения компонентов в смесителе. В смеситель заливали заранее приготовленную смесь бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера, затем добавляли полые углеродные микросферы, пигмент, воду и тщательно перемешивали. Композиции готовились разных составов, с различным содержанием полимерного связующего и микросфер, согласно разработанным рецептурам. Готовые композиции тщательно

---

перемешивали и наносили на металлическую подложку. Время сушки нанесенного покрытия составляло 72 часа при температуре 25<sup>0</sup>С.

### Результаты и их обсуждение

В результате выполнения данной работы были разработаны составы композиций для получения образцов теплоизоляционного покрытия и определены их физико-механические характеристики. В таблице 1 представлены составы композиций и физико-механические свойства покрытий, полученных на их основе.

Таблица № 1

Составы композиций и физико-механические свойства покрытий,  
полученные на их основе

№ образц а	Составы композиций, мас. %.			Физико-механические характеристики покрытия	
	Полимерно е связующее	Полые углеродные микросфер ы	Пигмен т	Теплопроводност ь, Вт/м <sup>0</sup> С	Прочност ь при разрыве, кг/мм <sup>2</sup>
1	25	20	5	0,14	3,6
2	35	25	4	0,18	3,2
3	30	30	3	0,15	3,8

Из таблицы 1 видно, что разработанные образцы покрытий обладают достаточно низкой теплопроводностью и хорошей прочностью при разрыве. При дополнительных экспериментах, проведенных на полимерных теплоизоляционных покрытиях, полученных на основе композиций, соотношения компонентов в которых выходили за пределы, представленные в таблице 1, показали, что их показатели по теплоизоляционным свойствам и прочности значительно хуже.

Добавление в рецептуру более 30 мас.% полых углеродных микросфер приводит к нарастанию вязкости полимерной композиции и возможности получения технологического брака, а добавление полых углеродных микросфер меньше 20 мас.% уменьшает прочность и не снижает теплопроводность полимерного покрытия.

В ходе выполнения работы была также произведена сравнительная характеристика разработанного теплоизоляционного покрытия с известным теплоизоляционным покрытием, получаемым на основе композиции, содержащей аналогичное связующее, стеклянные микросферы, а также пигмент и воду [21]. Результаты сравнительной характеристики представлены в таблице 2.

Таблица № 2

Физико-механические характеристики известного и разработанного теплоизоляционного покрытия

Наименование показателя	Значение показателя	
	Известное теплоизоляционное покрытие	Разработанное теплоизоляционное покрытие
Прочность при разрыве, кг/мм <sup>2</sup>	3,0	3,2-3,8
Теплопроводность, Вт/м °С	0,25	0,14-0,18

Из таблицы 2 видно, что у разработанного теплоизоляционного покрытия показатель теплопроводности ниже, а значение прочности выше, чем у известного теплоизоляционного покрытия, что позволяет сделать вывод об эффективности практического применения разработанного теплоизоляционного покрытия.

Улучшение эксплуатационных свойств за счет использование полых углеродных микросфер в разработанной композиции в количестве 20-30

мас.% можно объяснить тем, что полученные путем пиролиза углеродные микросферы имеют более шероховатую поверхность, чем полые стеклянные микросферы. В связи с этим в разработанном теплоизоляционном покрытии силы физического сцепления между поверхностью углеродных микросфер и связующим (смесью бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера) существенно выше. Кроме того, на поверхности микропор углеродных микросфер располагаются различные функциональные группы, которые выступают центрами активации межмолекулярного химического взаимодействия с полимерным связующим, что повышает адгезию и значительно упрочняет структуру полимерной матрицы покрытия. Снижение теплопроводности обеспечивается за счет того, что полые углеродные микросферы обладают значительно более низким коэффициентом теплопроводности, чем стеклянные полые микросферы, поэтому использование их в композиции позволяет получить полимерное покрытие с более высокими теплоизоляционными свойствами.

### **Выводы**

Таким образом, использование полых углеродных микросфер в композиции позволяет значительно увеличить эксплуатационные характеристики полимерного теплоизоляционного покрытия. При этом следует отметить, что полые углеродные микросферы значительно легче, чем стеклянные микросферы, что позволяет снизить удельный вес покрытия и, как следствие, уменьшить весовую нагрузку на конструкционные элементы обрабатываемых поверхностей. Кроме того, разработанное покрытие обеспечивает хорошее сцепление с поверхностью, технологически легко на нее наносится и экологически безопасно, а, следовательно, его применение представляет практический интерес.

## Литература

1. Лобанов М.Л., Кардолина Н.И., Россина Н.Г., Юровских А.С. Защитные покрытия: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 200 с.
  2. Brostow W., Dutta M., Rusek P. Modified epoxy coatings on mild steel: Tribology and surface energy // European Polymer Journal. 2010. Vol. 46. Iss.11. P. 2181-2189.
  3. Szymański K., Hernas A., Moskal G., Myalska H. Thermally sprayed coatings resistant to erosion and corrosion for power plant boilers - A review // Surface and Coatings Technology. 2015. Vol. 26825. P.153-164.
  4. Цапко К.А., Яковец О.В. Принцип покрытия сварных изделий металлизированными покрытиями // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5558](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5558).
  5. Шахова В.Н., Березовская А.В., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13-18.
  6. Антонова Н.М., Березовский В.С., Лисниченко И.А., Сибирка И.А., Болдырев Ф.М. Влияние порошка Fe на электрические свойства функциональных покрытий на основе полимера Na-КМЦ // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3935](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3935).
  7. Тихонов В.Б., Колесниченко М.П. Особенности использования современных теплоизоляционных материалов на полимерной основе // Энергобезопасность и энергосбережение. 2011. № 1. С. 24-27.
  8. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2019. №7. С. 36-41.
-

9. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г., Трифонова Т.А., Ильина М.Е., Чухланова Н.В., Киреева Ю.Г. Тонкослойные покрытия на основе полых неорганических микросфер и полиакрилового связующего // Химическая технология. 2018. №4. С. 155-160.

10. Яковенко Т.В., Яруллина Г.К., Гарустович И.В., Шишилов О.Н., Мельников Н.О. Сферопластики как термоизолирующие защитные материалы промышленного назначения // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 8. С. 71-73.

11. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5-1. С. 245-256.

12. Фомина Н.Н., Бабенко В.А., Меньшикова Е.Г. Разработка теплоизоляционных защитно-декоративных композиций // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2015. № 5. С. 81-85.

13. Волков Д.П., Заричняк Ю.П., Марова А.А. Структура и теплопроводность многокомпонентных полимеркомпозитов, наполненных керамическими и силиконовыми полыми микросферами // Пластические массы. 2016. №5-6. С.38-41.

14. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 118 с.

15. Кордикова Е.И., Спиглазов А.В., Ставров В.П. Перспективы использования композиционных материалов на основе текстильных отходов и вторичных термопластичных полимеров в качестве теплоизоляции // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4. Химия и технология органических веществ. 2009. № 4. С. 121-123.

---

16. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. Модификация полиорганосилоксаном связующего на основе полиуретана // Пластические массы. 2013. № 9. С. 8 -10.
17. Трофимов А.Н., Зарубина А.Ю., Симонов-Емельянов И.Д. Структура, обобщенные параметры и реологические свойства эпоксидных сферопластиков // Пластические массы. 2014. № 11-12. С. 3-8.
18. Теряева Т.Н., Костенко О.В., Исмагилов З.Р. Структура и термические характеристики композитов на основе полиэтилена и микросфер зол уноса // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. № 2. С. 193-197.
19. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г., Трифонова Т.А., Ильина М.Е., Чухланова Н.В. Физико-механические свойства сферопластиков на основе полых стеклянных микросфер и полиакрилового связующего // Бутлеровские сообщения. 2017. № 6. С.141-146.
20. Сокольская М.К., Колосова А.С., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. №10-2. С. 290-295.
21. Жидкое теплоизоляционное покрытие / Патент РФ № 2206550. 2003. Бюл. № 17 // Основин Е. В.

### References

1. Lobanov M.L., Kardonina N.I., Rossina N.G., Yurovskih A.S. Zashchitnye pokrytiya [Protective coating]: Textbook. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2014. 200 p.
  2. Brostow W., Dutta M., Rusek P. European Polymer Journal. 2010. Vol. 46. Iss.11. P. 2181-2189.
  3. Szymański K., Hernas A., Moskal G., Myalska H. Surface and Coatings Technology. 2015. Vol. 26825. P.153-164.
-



4. Capko K.A., Yakovec O.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5558](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5558).
  5. Shakhova V.N., Berezovskaya A.V., Pikalov E.S., Selivanov O.G., Sysoev E.P. Steklo i keramika. 2019. № 1. P. 13-18.
  6. Antonova N.M., Berezovskij V.S., Lisnichenko I.A., Sibirka I.A., Boldyrev F.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3935](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3935).
  7. Tihonov V.B., Kolesnichenko M.P. Energobezопасnost' i energosberezhenie. 2011. № 1. P. 24-27.
  8. Torlova A.S., Vitkalova I.A., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2019. №7. P. 36-41.
  9. Chuhlanov V.Yu., Selivanov O.G., Trifonova T.A., Il'ina M.E., Chuhlanova N.V., Kireeva Yu.G. Himicheskaya tekhnologiya. 2018. №4. pp. 155-160.
  10. Yakovenko T.V., Yarullina G.K., Garustovich I.V., Shishilov O.N., Mel'nikov N.O. Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. 2016. № 8. pp. 71-73.
  11. Kolosova A.S., Sokol'skaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2018. № 5-1. pp. 245-256.
  12. Fomina N.N., Babenko V.A., Men'shikova E.G. Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve. 2015. № 5. pp. 81-85.
  13. Volkov D.P., Zarichnyak Yu.P., Marova A.A. Plasticheskie massy. 2016. №5-6. pp.38-41.
  14. Bondaletova L.I., Bondaletov V.G. Polimernye kompozicionnye materialy (chast' 1) [Polymer composite materials (part 1)]: Textbook. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2013. 118 p.
  15. Kordikova E.I., Spiglazov A.V., Stavrov V.P. Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 4. Himiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv. 2009. № 4. pp. 121-123.
-



16. Chuhlanov V.Yu., Selivanov O.G. Plasticheskie massy. 2013. № 9. pp. 8 -10.
17. Trofimov A.N., Zarubina A.Yu., Simonov-Emel'yanov I.D. Plasticheskie massy. 2014. № 11-12. pp. 3-8.
18. Teryaeva T.N., Kostenko O.V., Ismagilov Z.R. Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 2015. № 2. Pp. 193-197.
19. Chuhlanov V.Yu., Selivanov O.G., Trifonova T.A., Il'ina M.E., Chuhlanova N.V. Butlerovskie soobshcheniya. 2017. № 6. Pp.141-146.
20. Sokol'skaya M.K., Kolosova A.S., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Fundamental'nye issledovaniya. 2017. №10-2. pp. 290-295
21. Zhidkoe teploizolyacionnoe pokrytie. Patent RF [Patent of the Russian Federation] № 2206550. 2003. Bull. № 17. Osnovin E. V.