

## Разработка теплоизоляционного полимерного покрытия, наполненного фенолформальдегидными микросферами

*Е.А. Павлычева*

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

**Аннотация:** В данной работе представлены результаты разработки теплоизоляционного покрытия на основе полимерного связующего для теплоизоляции горячих металлических поверхностей промышленного оборудования, технологических установок, рабочих поверхностей трубопроводов, эксплуатируемых при температурах до 100 °С. Теплоизоляционное покрытие разработано на основе полимерной композиции, содержащей в качестве связующего смесь акрилового полимера и бутадиен - стирольного каучука, полые фенолформальдегидные микросферы, пигмент и воду. Применение фенолформальдегидных полых микросфер в данной композиции в количестве 20,0 - 40,0 мас. % в качестве наполнителя, позволяет снизить теплопроводность разработанного покрытия и повысить его прочностные характеристики, по сравнению с аналогичным покрытием, содержащим углеродные микросферы. Использование данной композиции позволяет получить полимерное покрытие с высокими теплоизоляционными и механическими свойствами.

**Ключевые слова:** теплоизоляционное покрытие, акриловый полимер, бутадиен - стирольный каучук, полые фенолформальдегидные микросферы, прочность при разрыве, теплопроводность

### Введение

На сегодняшний день в строительной индустрии и машиностроении выпускают изделия, оборудование и комплектующие с различными покрытиями, которые применяются для защиты от механических и физико-химических воздействий (влаги, агрессивных веществ, ультрафиолета и др.), что позволяет повысить эксплуатационные показатели, продлить срок службы и улучшить внешний вид поверхностей с такими покрытиями. В зависимости от назначения покрытия выбирается материал для его получения, который может выполнять сразу несколько защитных функций. Наиболее широко для одновременной защиты от механических повреждений, влаги и повышения химической стойкости поверхностей и изделий применяются гальванические, глазурованные и полимерные покрытия [1-3].

---

Кроме материала, из которого получено покрытие, на его свойства влияет структура, формируемая за счет компонентов в составе сырьевой смеси и способа получения. В этом случае наибольшие перспективы появляются для одновременной защиты от внешних воздействий и тепловых потерь за счет создания пористой структуры. Пористая структура покрытия, как и в случае получения других материалов и изделий, может быть сформирована за счет применения порообразующих (выгорающих и газообразующих) добавок и применения полых наполнителей, среди которых наиболее распространены микросферы [4-6].

Исходя из вышесказанного, в качестве теплоизоляционных защитных покрытий наиболее актуальным будет применение полимерных композиционных материалов, которые позволяют комбинировать свойства связующих и наполнителей с получением комплекса эксплуатационных свойств с требуемыми значениями. В данном случае особый интерес представляют полимерные композиционные материалы, наполненные полыми микросферами [7-9].

Полые микросферы, благодаря наличию газовой фазы, характеризуются низким коэффициентом теплопроводности, что имеет большое значение при разработке теплоизоляционных материалов [10-12]. Наличие пустотелых микросфер в полимерной матрице композиционных полимерных материалов также обеспечивает им малую плотность, повышенную прочность, пониженный коэффициент теплового расширения и низкую теплопроводность [8, 13, 14]. Выбор полимерного связующего во многом определяет теплофизические и физико-механические свойства покрытия, а также его эксплуатационные характеристики, поэтому в качестве связующего могут применяться различные полимеры и реакционноспособные олигомеры [15-17].

---

Отдельный интерес для получения теплоизоляционных покрытий представляют полиакриловые связующие, характеризующиеся устойчивостью к температурному воздействию до 100 °С, экологической безопасностью, хорошим сцеплением с рабочей поверхностью, возможностью отверждения при комнатной температуре и при этом технологической легкостью нанесения.

Однако полиакриловые вододисперсионные связующие обладают недостаточно высокими прочностными характеристиками и малой поверхностной прочностью [18, 19]. Поэтому актуальным является использование данного связующего в сочетании с другими полимерными связующими, а также подбор дополнительных компонентов, способных улучшить необходимые для теплоизоляционного покрытия теплофизические и физико-механические свойства.

В данной работе приводятся исследования по разработке теплоизоляционного покрытия, в котором в качестве полимерного связующего предлагается использовать смесь бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера, а в качестве наполнителя – фенолформальдегидные полые микросферы.

### **Материалы и методы исследования**

В качестве связующего для получения теплоизоляционного полимерного покрытия использовалась смесь бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера с содержанием бутадиен-стирольного каучука в смеси 30 мас.%. Для проведения исследований была выбрана марка каучука СКС-10, полученная из бутадиена-1,3 и стирола методом эмульсионной сополимеризации, с молекулярной массой 150000-300000. В качестве акрилового полимера использовали гомополимер метилового эфира акриловой кислоты – полиметилакрилат.

---

В качестве наполнителя для теплоизоляционной композиции были использованы полые фенолформальдегидные микросферы (ФФМ), марки БВ-01 (ТУ 6-05-221-258-87), представляющие собой тонкодисперсный сыпучий порошок. В качестве пигмента использовали диоксид титана марки Р-02, изготовленный по ГОСТ 9808-84.

Теплопроводность образцов теплоизоляционных покрытий определяли по ГОСТ 23630-79, предел прочности на разрыв - по ГОСТ 18299-72. Для получения образцов теплоизоляционного покрытия полимерные композиции готовились путем смешения компонентов в лабораторном смесителе. Вначале в смеситель заливали приготовленную смесь бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера, затем добавляли полые ФФМ, далее пигмент и воду. Все компоненты композиции тщательно перемешивались в течение 30 мин. Композиции готовились разных составов, с различным содержанием полимерного связующего и наполнителя ФФМ, согласно разработанным рецептурам. Готовые композиции наносили на металлическую подложку. Время сушки составляло 72 часа при температуре 25 °С.

### Результаты и их обсуждение

Из разработанных составов композиций были получены образцы теплоизоляционных покрытий и определены их теплофизические и физико-механические характеристики. В таблице 1 представлены составы разработанных теплоизоляционных композиций и характеристики покрытий, полученные на их основе.

Таблица № 1

Составы разработанных теплоизоляционных композиций и характеристики покрытий, полученных на их основе

№	Составы композиций, мас.%.	Характеристики покрытий
---	----------------------------	-------------------------

---

образца	Полимерное связующее	Наполнитель ФФМ	Пигмент	Теплопроводность, Вт/м °С	Прочность при разрыве, кг/мм <sup>2</sup>
1	25	20	5	0,12	3,8
2	35	30	4	0,10	4,2
3	30	40	3	0,13	4,0

Из таблицы 1 видно, что разработанные образцы покрытий обладают низкой теплопроводностью и высокой прочностью при разрыве.

В результате экспериментов было установлено, что соотношения компонентов, которые выходили за пределы соотношений, представленных в таблице 1, как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, приводят к значительному ухудшению теплоизоляционных свойств и прочности получаемых покрытий. Добавление в композицию меньше 20 мас.% полых ФФМ не дает значительного эффекта повышения прочностных и теплоизоляционных свойств покрытия, а увеличение их содержания свыше 40 мас.% в композиции приводит к нарастанию вязкости композиции и ухудшению адгезии покрытия к обрабатываемой поверхности из-за уменьшения содержания полимерного связующего, что является причиной возникновения технологического брака.

Использование полых ФФМ в композиции в количестве 20 - 40 мас. % обеспечивает повышение прочностных свойств покрытия, что обусловлено химическим взаимодействием реакционно-способных фенольных и гидроксильных групп, расположенных в поверхностных слоях ФФМ с молекулами полимерного связующего, что способствует упрочнению структуры полимерной матрицы покрытия. Кроме того, полые ФФМ обладают очень низкой теплопроводностью, что позволяет обеспечить высокие теплоизоляционные свойства разработанного покрытия.

Для оценки теплоизоляционных и прочностных свойств разработанного теплоизоляционного покрытия мной была произведена сравнительная характеристика с ранее разработанным теплоизоляционным покрытием, на основе аналогичного связующего, но в качестве наполнителя, содержащего полые углеродные микросферы, а также пигмент и воду [19]. Результаты сравнительной характеристики представлены в таблице 2.

Таблица № 2

Сравнительная характеристика известного и разработанного теплоизоляционного покрытия

Наименование показателя	Значение показателя	
	Известное теплоизоляционное покрытие	Разработанное теплоизоляционное покрытие
Прочность при разрыве, кг/мм <sup>2</sup>	3,2	3,8-4,2
Теплопроводность, Вт/м <sup>0</sup> С	0,18	0,10-0,13

Из таблицы 2 видно, что у разработанного теплоизоляционного покрытия показатель теплопроводности значительно ниже, а показатель прочности выше, чем у известного аналогичного теплоизоляционного покрытия.

### Выводы

Получено теплоизоляционное покрытие на основе смеси бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера с содержанием бутадиен-стирольного каучука в смеси 30 мас. %, в котором дополнительно содержится 20-40 мас. % фенолформальдегидных микросфер в качестве наполнителя и 3-5 мас. % пигмента.

Использование полых фенолформальдегидных микросфер снижает теплопроводность полимерного покрытия и повышает его прочность.

Разработанное теплоизоляционное покрытие обеспечивает хорошее сцепление с рабочей поверхностью, технологически легко наносится, экологически безопасно, имеет повышенные теплоизоляционные и прочностные свойства.

### Литература

1. Наливайко Е.В., Гороя Е.Ю., Бобрикова И.Г., Селиванов В.Н. Свойства покрытий сплавом цинк-никель, полученных из хлораммонийных электролитов // Инженерный вестник Дона. 2013. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1524](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1524)

2. Шахова В.Н., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Получение облицовочной керамики с использованием несортированного боя тарных стекол // Экология и промышленность России. 2019. № 2. С. 36-41.

3. Вирясов А.Н., Гостинин И.А., Семенова М.А. Применение труб коррозионно-стойкого исполнения для обеспечения надежности нефтегазотранспортных систем Западной Сибири // Инженерный вестник Дона. 2013. №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1487](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1487)

4. Перовская К.А., Петрина Д.Е., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение полимерных отходов для повышения энергоэффективности стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2019. №1. С. 7-11.

5. Wang M., Xu Y., Liu Y., Wu W., Xu S. Synthesis of Sb-doped SnO<sub>2</sub> (ATO) hollow microspheres and its application in photo-thermal shielding coating // Progress in Organic Coatings. 2019. Vol. 136. Article 105229.

6. Dong X., Wang M., Tao X., Liu J., Guo A. Properties of heat resistant hollow glass microsphere/phosphate buoyancy materials with different coatings // Ceramics International. 2020. Vol. 46. Iss. 1. pp. 415-420.

7. Бабенко В.А., Фомина Н.Н. Разработка окрасочной теплоизоляции на основе эффективно-наполненных водных дисперсий полимеров // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2016. № 7. С. 82-85.

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

9. Акулова М.В., Зимакова Г.А., Панченко Ю.Ф., Панченко Д.А. Влияние комплексного наполнителя на свойства лакокрасочного теплоизоляционного покрытия // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 1. С. 167-171.

10. Гринчук П., Акулич А., Чернухо Е., Стетюкевич Н., Хилько М. Покрытия с добавлением полых стеклянных микросфер // Наука и инновации. 2017. № 11. С. 16-20.

11. Хабибуллин Ю.Х., Барышева О.Б. Энергосберегающие покрытия на основе минеральных микросфер // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2. С. 144-148.

12. Зуборева М.В., Китаева Н.К., Малышкин В.Г. Получение нового высокотемпературного теплоизоляционного покрытия на основе микросфер и анизотропных наноструктур // Евразийский союз ученых. 2016. № 6-2. С. 30-32.

13. 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. Т.19. № 4. С.155-160.

14. 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. С. 245-256.

---

15. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. Диэлектрические свойства герметизирующей композиции на основе эпоксидиановой смолы, модифицированной полиметилфенилсилоксаном, в сантиметровом СВЧ-диапазоне // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №3. С.6 -10.

16. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. Модификация полиорганосилоксаном связующего на основе полиуретана // Пластические массы. 2013. № 9. С.8-10.

17. Строганов В.Ф., Безчвертная И.В., Амельченко М.О. Исследование и разработка защитных и гидроизоляционных водно-дисперсионных полимерных покрытий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2. С. 200-206.

18. 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.

19. Павлычева Е.А. Исследование физико-механических свойств полимерного теплоизоляционного покрытия пониженной плотности // Инженерный вестник Дона. 2020. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6427](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6427)

### References

1. Nalivajko E.V., Gorovaya E.Yu., Bobrikova I.G., Selivanov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1524](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1524)

2. Shakhova V.N., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2019. № 2. pp. 36-41.

3. Viryasov A.N., Gostinin I.A., Semenova M.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1487](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1487)

4. Perovskaya K.A., Petrina D.E., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Ekologiya promyshlennogo proizvodstva. 2019. №1. pp. 7-11.
  5. Wang M., Xu Y., Liu Y., Wu W., Xu S. Progress in Organic Coatings. 2019. Vol. 136. Article 105229.
  6. Dong X., Wang M., Tao X., Liu J., Guo A. Ceramics International. 2020. Vol. 46. Iss. 1. pp. 415-420.
  7. Babenko V.A., Fomina N.N. Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah - MMTT. 2016. № 7. pp. 82-85.
  8. Fomina N.N., Babenko V.A., Men'shikova E.G. Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve. 2015. № 5. pp. 81-85.
  9. Akulova M.V., Zimakova G.A., Panchenko Yu.F., Panchenko D.A. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2017. № 1. pp. 167-171.
  10. Grinchuk P., Akulich A., Chernuho E., Stetyukevich N., Hil'ko M. Nauka i innovacii. 2017. № 11. pp. 16-20.
  11. Habibullin Yu.H., Barysheva O.B. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2014. № 2. pp. 144-148.
  12. Zuboreva M.V., Kitaeva N.K., Malynkin V.G. Evrazijskij soyuz uchenyh. 2016. № 6-2. pp. 30-32.
  13. Chuhlanov V.Yu., Selivanov O.G., Trifonova T.A., Il'ina M.E., Chuhlanova N.V., Kireeva Yu.G. Himicheskaya tekhnologiya. 2018. T.19. № 4. pp.155-160.
  14. Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2018. № 5. pp. 245-256
  15. Chuhlanov V.Yu., Selivanov O.G. Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2015. №3. pp.6 -10.
  16. Chuhlanov V.Yu., Selivanov O.G. Plasticheskie massy. 2013. № 9. pp.8-10.
-



17. Stroganov V.F., Bezchvertnaya I.V., Amel'chenko M.O. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2012. № 2. pp. 200-206.

18. Sokolskaya M.K., Kolosova A.S., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Fundamental'nye issledovaniya. 2017. №10-2. pp. 290-295.

19. Pavlycheva E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6427](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6427)