СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.57:699.86

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-79-86

*В.А. ВЛАСОВ, Н.К. СКРИПНИКОВА,
Д.К. ГРИГОРЕВСКАЯ, В.В. ШЕХОВЦОВ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЬНЫХ МИКРОСФЕР*

Рассмотрены возможности получения теплоизоляционных красок с использованием зольных микросфер в качестве микронаполнителя. Исследовано влияние основных технологических факторов на свойства лакокрасочных материалов, полученных на основе водно-дисперсионного стирол-акрилового латекса Latex DL 424 и смеси зольных микросфер фракции 0,071–0,14 мм и насыпной плотности 371 кг/м³. Установлен оптимальный состав лакокрасочной композиции с учетом возможности получения покрытия требуемого качества. Технический результат эксперимента заключается в повышении прочности и твердости получаемого покрытия за счет интенсивного процесса полимеризации стирол-акрилового латекса в порах зольных микросфер. Выявлено, что образцы также обладают высокой адгезией к керамическому и металлическому основанию, высокой степенью коррозионной стойкости и низким коэффициентом теплопроводности. Помимо этого, использование в композиции полимерного связующего позволяет повысить эластичность покрытия и, как следствие, стойкость к мытью и истиранию. Областью применения полученных образцов теплоизоляционного лакокрасочного материала могут быть различные поверхности стен, потолков, крыш зданий и сооружений, трубопроводов, котлов и т. п.

Ключевые слова: теплоизоляция; теплоизоляционные лакокрасочные материалы; теплопроводность; зольные микросферы; адгезия; стирол-акриловая дисперсия; строительные материалы; энергосбережение.

Для цитирования: Власов В.А., Скрипникова Н.К., Григорьевская Д.К., Шеховцов В.В. Разработка и исследование составов теплоизоляционных лакокрасочных материалов с использованием зольных микросфер // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 2. С. 79–86.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-79-86

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10102).

V.A. VLASOV, N.K. SKRIPNIKOVA,
D.K. GRIGOREVSKAYA, V.V. SHEKHOVTSOV,
Tomsk State University of Architecture and Building

DEVELOPMENT OF HEAT INSULATING COATINGS COMPRISING ASH MICROSPHERES

The paper considers the production of heat-insulating paints using ash microspheres as a microfiller. It is shown how the technology factors change the properties of paintwork materials based on Latex DL 424 water-dispersion acrylic latex and 0.071–0.14 mm ash microspheres with the bulk density of 371 kg/m³. The optimum composition of paintwork materials is determined with regard to the coating production of the required quality. The experiments result in the increase in the coating strength and hardness due to the intensive polymerization of styrene-acrylic latex in ash microspheres. It is found that the obtained samples also possess high adhesion to ceramic and metal substrates, high corrosion resistance and low thermal conductivity. In addition, the use of the polymer binder in the composition makes allows increasing the coating elasticity and, as a consequence, the resistance to washing and abrasion. The obtained heat-insulating material can be used for various surfaces of walls, ceilings, roofs of buildings and structures, pipelines, boilers, and many others.

Keywords: thermal insulation; heat-insulating paints and varnishes; thermal conductivity; ash microspheres; adhesion; styrene-acrylic dispersion; building materials; energy saving.

For citation: Vlasov V.A., Skripnikova N.K., Grigorevskaya D.K., Shekhovtsov V.V. Razrabotka i issledovanie sostavov teploizolyatsionnykh lakokrasochnykh materialov s ispol'zovaniem zol'nykh mikrosfer [Development of heat insulating coatings comprising ash microspheres]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 2. Pp. 79–86.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-79-86

Одним из приоритетных направлений развития строительной промышленности в наши дни является рациональное использование энергии и снижение ее потребления в сфере жилищно-коммунального комплекса. Особое значение приобретают энергосберегающие технологии обеспечения теплозащиты при строительстве новых и реконструкции уже существующих зданий и сооружений [1].

Как показывает опыт, сокращение теплопотерь при отоплении зданий достигается повышением термического сопротивления ограждающих конструкций путем применения эффективных теплоизоляционных материалов [2–4].

На сегодняшний день на отечественном рынке стройматериалов все большую популярность приобретают теплоизоляционные лакокрасочные материалы. Данные изделия представляют собой композицию, состоящую из полимерного связующего, функциональных добавок и наполнителя. Главными достоинствами теплоизоляционных красок является постоянство теплофизических свойств на всем протяжении срока эксплуатации изделия; простота и возможность нанесения на труднодоступные участки поверхности ограждающих конструкций; исключение протекания коррозии под тепловой изоляцией; пожаробезопасность; экологичность; устойчивость к атмосферному воздействию и др. [5, 6]. Кроме этого, наносить теплоизоляцион-

ные лакокрасочные материалы можно на любой тип поверхности (бетонную, керамическую, деревянную или металлическую). Главным же недостатком данных красок является их цена [7]. Известно, что при производстве теплоизоляционных лакокрасочных материалов многие производители, стремясь достигнуть максимально низких значений коэффициента теплопроводности, в качестве наполнителей используют достаточно дорогие полые стеклянные и керамические микросферы [8–10], что приводит к существенно высокой себестоимости и, как следствие, снижению конкурентной способности выпускаемой продукции [11]. В связи с этим целью настоящей работы является разработка и исследование теплоизоляционного лакокрасочного материала с использованием более дешевого наполнителя – зольных полых микросфер, стоимость которых в 8–10 раз ниже традиционно используемых стеклянных и керамических сфер.

Согласно литературным данным, микронаполнители теплоизоляционных красок обычно имеют диаметр менее 0,071 мм. Для получения покрытий необходимо обеспечить наименьший объем свободного пространства между микросферами, и, как следствие этого, для обеспечения высоких теплозащитных характеристик необходимо использовать смеси полых микросфер разных фракций, соответственно не превышающих допустимых 0,071 мм, и различной насыпной плотностью. При использовании микросфер с близкими фракциями степень заполнения пространства между сферами будет ниже [12–14]. Поэтому при исследовании влияния зольной микросферы на характеристики образцов теплоизоляционного покрытия был заложен принцип минимальной межзерновой пустотности и минимальной средней плотности. Для этого был подобран оптимальный фракционный состав зольных микросфер, равный 0,071–0,14 мм, с насыпной плотностью $\rho_m = 371 \text{ кг/м}^3$.

В ходе работы было отмечено, что на качество наносимых теплоизоляционных покрытий, особенно на их теплоизолирующие свойства, влияет не только фракционный состав наполнителя, но и вид используемого полимерного связующего. Так, в случае использования теплопокрытия в области повышенных температур (до 200 °С) необходимо применять акриловые или стирол-акриловые дисперсии. Толщина покрытия при этом может составлять до 0,8 мм при двухслойном нанесении краски. Для обеспечения хорошей гидроизоляционной защиты поверхности обрабатываемой конструкции или технического оборудования с температурной стойкостью до 100 °С можно использовать битумный лак с примерной толщиной слоя 0,15 мм. При этом толщина покрытия может составлять до пяти слоев в зависимости от требований к теплозащите.

В соответствии с вышеперечисленным было принято решение использовать в качестве полимерного связующего стирол-акриловую дисперсию Latex DL 424. Данная дисперсия хорошо совместима с наполнителями и обладает отличным сопротивлением к воде и щелочным средам, имеет хорошую адгезию к различным поверхностям, быстро сохнет, пожаро- и взрывобезопасна.

Помимо этого, в составе образцов теплоизоляционного лакокрасочного материала для повышения вязкости системы на основе выбранного связующего использовался загуститель Rheovis HS 1212, а для улучшения пленкообразования применялось коаlessцирующее вещество Texanol.

Методом математического планирования были подобраны составы образцов теплоизоляционной краски, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Составы образцов теплоизоляционного лакокрасочного материала

№ п/п	Наименование компонентов	Содержание компонентов, % по массе			
		Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4
1	Полимерное связующее (стирол-акриловый латекс)	60	55	50	45
2	Наполнитель (зольные микросферы)	35	40	45	50
3	Загуститель (Rheovis HS 1212)	3	3	3	2
4	Коалисцент (Texanol)	2	2	2	4

В результате было выявлено, что составы 1, 3 и 4 не дают желаемого результата, т. к. поверхность покрытия получалась с высокой пористостью, что приводило к увеличению водопоглощения у полученных образцов. Оптимальным по качеству и внешнему виду был выбран состав 2, где доля зольных микросфер составила 40 %, полимерного связующего – 55 %, а целевых добавок – 5 %.

Приготовление образцов теплоизоляционного покрытия проводилось по следующей методике: все компоненты дозировались и смешивались в фарфоровой чашке с зольной микросферой вручную без использования высокоскоростных мешалок, чтобы избежать разрушения структуры микросфер. Полученная композиция наносилась на керамическую и металлическую подложку с помощью кисти, после чего покрытия сушили при температуре 20 °С в течение 60 мин. Далее полученные образцы были испытаны на основные физико-механические характеристики в соответствии с действующими нормативными документами. Так как на данный момент нет основного метода определения коэффициента теплопроводности лакокрасочных материалов, этот показатель определялся в соответствии с ГОСТ 7076–99. В табл. 2 приведен сравнительный анализ разработанного состава образца с составом известной теплоизоляционной краски Thermal-Coat.

Из представленных в табл. 2 результатов физико-механических характеристик следует, что образцы покрытия разработанного состава на основе стирол-акриловой дисперсии и смеси зольных микросфер обладают высокой адгезией к керамическим и металлическим основаниям (1,2 и 1,0 МПа соответственно) и высокой степенью коррозионной стойкости (более 5 сут). Образцы лакокрасочного материала рекомендованы как теплоизоляционные, т. к. коэффициент теплопроводности данных изделий равен 0,051 Вт/(м·°С), что сопоставимо с теплопроводностью известных выпускаемых зарубежных и отечественных аналогов теплоизоляционных покрытий. В ходе исследований у получаемых лабораторных образцов покрытия отмечается наличие высокой степени твердости (0,15 усл. ед.) за счет интенсивного процесса полимеризации стирол-акриловой дисперсии в порах зольных микросфер. Использо-

зование в композиции указанного связующего позволяет также повысить эластичность образцов и, как следствие, стойкость к мытью и истиранию.

Таблица 2

**Сравнительные характеристики разработанного состава
с известным аналогом теплоизоляционного лакокрасочного материала**

Наименование показателя	Результаты испытаний		Методика испытаний
	Разработанный состав	Thermal-Coat	
Коэффициент теплопроводности (при 20 °С), Вт/(м·°С)	0,051	0,068	ГОСТ 7076–99
Водопоглощение по массе, %	1,2	1,4	ГОСТ 11529–2016
Термостойкость при температуре 250 °С в течение 1 ч	Покрытие без изменений		ГОСТ 27180–2019
Прочность сцепления с подложкой, МПа: керамической металлической	1,2	0,75	ГОСТ 27037–86
	1,0	1,0	
Определение устойчивости покрытия к воздействию переменных температур (10 циклов попеременного замораживания и оттаивания при температурах –40...+60 °С), циклы	Покрытие без изменений, трещины, вздутия и расслоения отсутствуют		ГОСТ 27037–86
Плотность в жидком состоянии, кг/м ³	770	590	ГОСТ 12730.1–78
Коррозионная стойкость, сут	5	4	ГОСТ 9.509–89
Термостойкость, °С	250	250	ГОСТ 27180–2019
Время высыхания, мин	60	60	ГОСТ 19007–73
Укрывистость, г/м ²	500	500	ГОСТ 8784–75
Твердость покрытия по маятниковому прибору, усл. ед.	0,15	0,095	ГОСТ 5233–89

Таким образом, в ходе проделанной работы была установлена возможность и целесообразность использования зольных полых микросфер в составах теплоизоляционных лакокрасочных материалов в качестве микросферического наполнителя. С целью повышения коррозионной стойкости теплоизоляционных покрытий может быть предусмотрено введение антикоррозионных пигментов в виде сурика железного, оксида цинка и ингибитора коррозии (нитрита натрия).

Областью применения разработанных составов теплоизоляционных красок могут быть поверхности различных форм и материалов, в частности,

для изоляции стен, потолков, крыш зданий и сооружений; котлов, трубопроводов и теплотрасс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шубин И.Л., Ахмяров Т.А., Беляев В.С., Спиридонов А.В. Энергетическая эффективность ограждающих конструкций: система активного энергосбережения // Строительные материалы. Оборудование. Технологии XXI века. 2014. № 3. С. 43–49.
2. Низина Т.А., Селяев В.П., Инин А.Е. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности жидкой теплоизоляции с учетом количества слоев и толщины покрытий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 7. С. 6–11.
3. Низина Т.А., Инин А.Е. Энергоэффективные жидкие теплоизоляционные покрытия на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 4. С. 33–42.
4. Панченко Ю.Ф., Зимакова Г.А., Панченко Д.А. Энергоэффективность использования нового теплозащитного материала для снижения теплопотребления зданий и сооружений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 4. С. 97–105.
5. Дружинина Т.Я., Копылова А.А. Актуальность применения жидкой сверхтонкой теплоизоляции в строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских объектов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 2. С. 101–104.
6. Гарипов Г.М. Энергосберегающее покрытие на основе акриловых дисперсий и полых стеклянных микросфер // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 6. С. 45–47.
7. Инин А.Е., Низина Т.А., Неверов В.А. Разработка эффективных составов наполненных полимерных связующих для жидких теплоизоляционных покрытий // Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 158–162.
8. Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Волланд С. Физико-химические процессы получения зольных микросфер с использованием низкотемпературной плазмы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 3 (56). С. 139–145.
9. Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Перспективы использования низкотемпературной плазмы в строительстве и архитектуре // Физика и химия стекла. 2018. Т. 44. № 3. С. 324–327.
10. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е., Семеновых М.А. Получение микросфер на основе материалов алюмосиликатной группы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 134–139.
11. Орешкин Д.В., Беляев К.В., Семенов В.С., Кретова У.Е. Полые микросферы – эффективный наполнитель в строительные и тампонажные растворы // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 9. С. 50–51.
12. Теряева Т.Н., Костенко О.В., Исмаилов З.Р., Шикина Н.В., Рудина Н.А., Антипова В.А. Физико-химические свойства алюмосиликатных полых микросфер // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. № 5. С. 86–90.
13. Мюллер Б., Пот У. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур. Москва : ООО «Пейнт-Медиа», 2007. 237 с.
14. Tarun R.N., Rudolph N.K., Rafat S. Controlled Low Strength Materials Containing Mixtures of Coal Ash and New Pozzolan Material // ACI Materials Journal. 2003. V. 100. № 3, May-June. P. 208–215.

REFERENCES

1. Shubin I.L., Akhmyarov T.A., Belyaev V.S., Spiridonov A.V. Energeticheskaya effektivnost' ogradhdayushchikh konstruktstii: sistema aktivnogo energosberezheniya [Energy efficiency of

- wall systems: energy saving]. *Stroitel'nye materialy. Oborudovanie. Tekhnologii XXI veka*. 2014. No. 3. Pp. 43–49. (rus)
2. Nizina T.A., Selyaev V.P., Inin A.E. Eksperimental'noe opredelenie koeffitsienta teploprovodnosti zhidkoi teploizolyatsii s uchetom kolichestva sloev i tolshchiny pokrytii [Experimental determination of thermal conductivity of liquid heat insulation with regard to the number of layers and coating thickness]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 7. Pp. 6–11. (rus)
 3. Nizina T.A., Inin A.E. Energoeffektivnye zhidkie teploizolyatsionnye pokrytiya na osnove polykh mikrosfer i tonkodispersnykh mineral'nykh napolnitelei [Energy-efficient liquid heat-insulating coatings based on hollow microspheres and finely dispersed mineral fillers]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No. 4. Pp. 33–42. (rus)
 4. Panchenko Yu.F., Zimakova G.A., Panchenko D.A. Energoeffektivnost' ispol'zovaniya novogo teplozashchitnogo materiala dlya snizheniya teplopotrebleniya zdaniy i sooruzhenii [Energy efficient use of new heat-shielding material to reduce heat consumption of buildings]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2011. No. 4. P. 97–105. (rus)
 5. Druzhinina T.Ya., Kopylova A.A. Aktual'nost' primeneniya zhidkoi sverkhtonkoi teploizolyatsii v stroitel'stve i ekspluatatsii promyshlennykh i grazhdanskikh ob'ektov [Liquid ultra-thin thermal insulation for construction and operation of industrial and civil facilities]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. No. 2. Pp. 101–104. (rus)
 6. Garipov G.M. Energosberegayushchee pokrytie na osnove akrilovykh dispersii i polykh steklyannykh mikrosfer [Energy-saving coating based on acrylic dispersions and hollow glass microspheres]. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. V. 17. No. 6. Pp. 45–47. (rus)
 7. Inin A.E., Nizina T.A., Neverov V.A. Razrabotka effektivnykh sostavov napolnennykh polimernykh svyazuyushchikh dlya zhidkikh teploizolyatsionnykh pokrytii [Development of effective compositions of filled polymer binders for liquid heat-insulating coatings]. In: *Razrabotka effektivnykh aviatsionnykh, promyshlennykh, elektrotekhnicheskikh i stroitel'nykh materialov i issledovanie ikh dolgovechnosti v usloviyakh vozdeistviya razlichnykh ekspluatatsionnykh faktorov: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (Proc. Int. Sci. Conf. 'Development of Efficient Aviation, Industrial, Electrical and Construction Materials and Their Durability in Different Operating Conditions')*. Saransk, 2013. Pp. 158–162. (rus)
 8. Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Volland S. Fiziko-khimicheskie protsessy polucheniya zol'nykh mikrosfer s ispol'zovaniem nizkoterperaturnoi plazmy [Physicochemical processes of spherical particle production using low-temperature plasma]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 3 (56). Pp. 139–145. (rus)
 9. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Perspektivy ispol'zovaniya nizkoterperaturnoi plazmy v stroitel'stve i arkhitekture [Prospects for the use of low-temperature plasma in construction and architecture]. *Fizika i khimiya stekla*. 2018. V. 44. No. 3. Pp. 324–327. (rus)
 10. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Gafarov R.E., Semenov M.A. Poluchenie mikrosfer na osnove materialov alyumosilikatnoi gruppy [Aluminosilicate microsphere production]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 134–139. (rus)
 11. Oreshkin D.V., Belyaev K.V., Semenov V.S., Kretova U.E. Polye mikrosfery – effektivnyi napolnitel' v stroitel'nye i tamponazhnye rastvory [Hollow microspheres as effective filler in construction and grouting mortars]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. No. 9. Pp. 50–51. (rus)
 12. Teryaeva T.N., Kostenko O.V., Ismagilov Z.R., Shikina N.V., Rudina N.A., Antipova V.A. Fiziko-khimicheskie svoystva alyumosilikatnykh polykh mikrosfer [Physicochemical properties of aluminosilicate hollow microspheres]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. No. 5. Pp. 86–90. (rus)
 13. Müller B., Poth U. Lakokrasochnye materialy i pokrytiya. Printsipy sostavleniya retseptur [Coatings formulation]. Moscow: Peint-Media, 2007. 237 p. (transl. from Germ.)
 14. Tarun R. N., Rudolph N. K., Rafat S. Controlled low strength materials containing mixtures of coal ash and new pozzolanic material. *ACI Materials Journal*. 2003. V. 100. No. 3. Pp. 208–215.

Сведения об авторах

Власов Виктор Алексеевич, докт. физ.-мат. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, rector@tsuab.ru

Скрипникова Нелли Карповна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nks2003@mail.ru

Григорьевская Дарья Константиновна, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, rebeccali@mail.ru

Шеховцов Валентин Валерьевич, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, shehovcov2010@yandex.ru

Authors Details

Viktor A. Vlasov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, rector@tsuab.ru

Nelli K. Skripnikova, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, Solyanaya Sq., 2 Building 2, 634003, Tomsk, Russia, nks2003@mail.ru

Dar'ya K. Grigorevskaya, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, Solyanaya Sq., 2 Building 2, 634003, Tomsk, Russia, rebeccali@mail.ru

Valentin V. Shekhovtsov, PhD, Assistant Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, Solyanaya Sq., 2 Building 2, 634003, Tomsk, Russia, shehovcov2010@yandex.ru