
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 15–24.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (3): 15–24.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691:541.6

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-15-24

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ И СПЕЦИАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

**Александр Петрович Илясов¹, Александр Владимирович Пчельников¹,
Анатолий Петрович Пичугин¹, Ольга Евгеньевна Смирнова²,
Владимир Федорович Хританков²**

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин), Новосибирск, Россия

Аннотация. Исследовано влияние различных наноразмерных добавок на теплозащитные качества полимерных лакокрасочных материалов, что для многих условий эксплуатации является важным свойством. Показано, что введение различных наноразмерных добавок в определенном сочетании способствует увеличению свойств лакокрасочных составов при прохождении теплового потока. При исследовании процесса полимеризации лакокрасочной композиции в присутствии наноразмерных добавок установлено их положительное влияние, выражающееся в каталитическом воздействии на структурное преобразование покрытия на металлических поверхностях. Введение кремнеземистых и углеродных нанодобавок в сочетании с молотым асбестом позволяет получить эффективный состав лакокрасочной композиции, обладающий высокой сопротивляемостью к прохождению тепла через металлическую поверхность.

Ключевые слова: тепловой поток, тепловая защита, наноразмерные добавки, нанотрубки, кремнезоль, оксид висмута, металлическая поверхность, лакокрасочные покрытия

Для цитирования: Илясов А.П., Пчельников А.В., Пичугин А.П., Смирнова О.Е., Хританков В.Ф. Теплозащитные свойства полимерных композиций с наноразмерными и специальными добавками // Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 15–24. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-15-24.

Original article

THERMAL PROTECTION PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITIONS WITH NANOSCALE AND SPECIAL ADDITIVES

**Alexander P. Ilyasov¹, Alexander V. Pchelnikov¹, Anatoly P. Pichugin¹,
Olga E. Smirnova², Vladimir F. Khritankov²**

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, Russia

Abstract. The influence of various nanoscale additives on the heat-protective qualities of polymer paints and varnishes has been studied, which is an important property for many operating conditions. It is shown that the introduction of various nanoscale additives in a certain combination contributes to an increase in the properties of paint compositions during the passage of heat flow. When studying the polymerization process of the paint composition in the presence of nanoscale additives, their positive effect was found, expressed in a catalytic effect on the structural transformation of the coating on metallic surfaces. The introduction of silica and carbon nanoparticles in combination with ground asbestos makes it possible to obtain an effective composition of the paint composition with high resistance to the passage of heat through the metal surface.

Keywords: heat flow, thermal protection, nanoscale additives, nanotubes, silica, bismuth oxide, metal surface, paint and varnish coatings

For citation: Ilyasov A.P., Pchelnikov A.V., Pichugin A.P., Smirnova O.E., Khritankov V.F. Thermal protection properties of polymer compositions with nanoscale and special additives. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (3): 15–24. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-15-24.

Введение. Известно, что на строительной стали и технологическом оборудовании после воздействия повышенных температур на поверхности образуется характерная окраска, связанная с возникновением тонких оксидных слоев. Цвет такого слоя зависит от температуры нагрева и толщины слоя оксидов. Так, при 220–230 °С толщина слоя может составлять около 0,04 мкм и иметь светло-желтый оттенок, а при повышении температуры цвет изменяется с желто-оранжевого до красно-фиолетового и синего. При этом толщина оксидного слоя может увеличиться почти в 2 раза. Повышенная температура металлических элементов с нагревом до 300 °С и более приводит к необратимым деформациям в виде искривления или прогиба, а после 550 °С конструкции или детали могут терять механическую прочность и обрушаться. Особо остро данный вопрос стоит при эксплуатации тонкостенных металлических элементов и конструкций при возникновении фронта повышенных температур, что часто случается в условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники и перерабатывающих предприятий [1, 2].

С целью предотвращения нежелательных температурных деформаций металлические поверхности строительных конструкций и оборудования окрашивают лакокрасочными композициями с теплозащитным эффектом, однако стоимость таких составов превышает 1–3 тыс. руб. на м², что на практике экономически не всегда возможно реализовать. Поэтому нами выбран путь модифицирования акриловых лакокрасочных композиций наноразмер-

ными добавками и создание теплозащитного экрана для обеспечения сохраненных функций при окраске металлических поверхностей [3, 4].

Теоретические основы расчета. Прохождение тепла через любую поверхность (ограждение) происходит в основном путем теплопроводности твердого тела и газа или за счет излучения. Теоретически процесс теплопереноса теплопроводностью в металлах, как и в других твердых веществах, описывается с позиций квантовой теории как неравновесное распределение фононов, стремящихся к релаксации, зависящее от температуры, частоты и поляризации фононной моды. Свои ограничения на эти параметры вводит время и длина свободного пробега. Известно, что на условия теплообмена оказывают влияние особенности структуры, плотность и другие исходные качества вещества, связанные с его природой и способом получения. Дополнительным фактором может служить участие в тепломассопереносе различных тонких защитных покрытий, обеспечивающих коррозионную стойкость и другие эксплуатационные качества [2, 4, 5].

При стационарном тепловом потоке уравнение прохождения тепла через твердую поверхность имеет следующий вид:

$$q = -\lambda \text{grad } T,$$

где λ – коэффициент теплопроводности тела;
 $\text{grad } T$ – градиент температуры, численно равный изменению температуры на единицу длины нормали к поверхности.

Однородная плоская стенка является простейшей распространенной задачей, решаемой теорией теплообмена с определением плотности теплового потока, передаваемого через плоскую стенку толщиной δ , на поверхностях которой поддерживаются температуры t_{c1} и t_{c2} (рис. 1). Температура изменяется только по толщине пластины – по одной координате x . Такие задачи называются одномерными, решения их наиболее просты. В стационарных условиях, когда энергия не расходуется на нагрев, плотность теплового потока q неизменна по толщине стенки.

В большинстве практических задач предполагается, что коэффициент теплопроводности не зависит от температуры и одинаков по всей толщине стенки. Отношение коэффициента теплопроводности к толщине ограждения называется тепловой проводимостью стенки, а обратная величина – тепловым или термическим сопротивлением стенки. Поэтому величина термического сопротивления для расчета теплового потока может быть определена путем разности температур на входе и выходе из стенки, отнесенная к термическому сопротивлению, представляющему величину, отнесенную к единице плоской стенки площадью 1 м^2 . Для многослойной стенки определение теплового потока и термическое сопротивление будет равно сумме термических сопротивлений отдельных слоев.

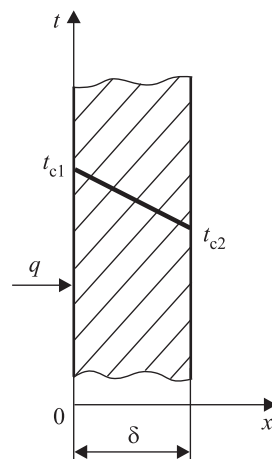


Рис. 1. Стационарное распределение температуры по толщине плоской стенки

Fig. 1. Stationary temperature distribution over the thickness of a flat wall

Методика проведения исследований. В качестве материалов для исследования использовали лакокрасочный материал АК-1301, широко применяемый для техники и оборудования АПК. Наномодификаторами служили оксид висмута Bi_2O_3 отечественного производства, паста с содержанием углеродных нанотрубок Matrix 203 фирмы OcSiAl, гидроксиды магния и алюминия, диоксиды титана и кремния, оксиды церия и цинка, а также минеральные тонкомолотые порошки асбеста и алюмосиликатных микросфер [3, 6, 7].

Оценку свойств и характеристик проводили на поверенном оборудовании в соответствии с российскими и международными стандартами и с помощью запатентованных и разработанных устройств. Адгезионную прочность покрытий определяли гидравлическим адгезиметром DeFelsko AT-A. Оценка коррозионной, химической устойчивости и относительную оценку адгезии осуществляли при помощи фотоэлектроколориметра КФК-3-«ЗОМЗ». Для нахождения твердости покрытий использовали прибор «Константа ТК». Термомеханические исследования проводились с помощью динамометрических весов Каргина. Толщина покрытий измерялась магнитным толщиномером МТ-201 [3, 8, 9].

Для проведения исследований был изготовлен стенд, содержащий источник – высокотемпературный нагреватель, подключенный через реостат, на который устанавливали теплоизоляционный конусный кожух с отверстием сверху для прохождения теплового потока к образцам с различными видами защитных композиций и термодатчиком. На выходе теплового потока от кожуха также находился термодатчик. Температура фиксировалась электронным прибором-пирометром, что обеспечивало точность отсчета при нагревании. Предел скорости нагрева от $2\text{ }^\circ\text{C}$ в секунду при максимальном доведении до $220\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$. Это ограничение вызвано началом перехода в текучее состояние акрилового полимера на кривой при термомеханических исследованиях. Кроме того, ранее было отмечено, что максимальная температура, при которой происходит воспламенение лакокрасочного покрытия, составляет менее $150\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$, а время сопротивления тепловому потоку на самовозгорание не превышает $60\text{--}75\text{ с}$. Таким образом, разработанный стенд позволяет измерять интенсивность теплового потока, проходящего через материалы образцов с различным защитным покрытием, и устанавливать эффективность защитных свойств разных композиций.

Результаты исследований и обсуждение. На первом этапе исследований были опробованы различные минеральные добавки, способствующие повышению тепловой защиты покрытий на основе лакокрасочных материалов: минеральные порошки, асбест, алюмосиликатные микросферы, молотый песок, каменная мука и др. Введение измельченного асбеста в количестве от 1 % приводит к увеличению защитных свойств создаваемой пленки на $35\text{--}50\text{ }%$ по сравнению с составами без добавок. При увеличении содержания асбеста до 5 % теплозащитные свойства возрастают.

Так, у образцов, покрытых композицией с добавлением асбеста 5 %, после нагрева в течение 60 с разность между отсчетами нижнего и верхнего термодатчиков (ΔT) составляет $21\text{ }^\circ\text{C}$, что в 3,5 раза превышает значение ΔT у образца без добавок. Через 100 с значение ΔT уже $30\text{ }^\circ\text{C}$, что практически в 2 раза выше значения ΔT у образца без добавок. Через 135 с значение ΔT

достигает 40 °С, это более чем в 1,5 раза превосходит значение ΔT у образца без добавок. Таким образом, интервал нагрева в 15–16 °С сохраняется на протяжении всего времени испытания [4, 6, 7].

При испытании композиций с алюмосиликатными микросферами в количестве 1 % через 60 с нагрева значение ΔT составляет 19 °С, что в 3,2 раза больше значения ΔT у образца без добавок. Через 100 с значение ΔT – 26 °С, что практически в 1,6 раза выше значения ΔT у образца без добавок, а через 135 с значение ΔT составляет 25 °С, это практически совпадает со значением ΔT у образца без добавок.

При содержании молотых микросфер 5 % через 60 с нагрева наблюдается значение ΔT 12 °С, что в 2 раза превышает значение ΔT у образца без добавок. После нагрева в течение 100 с значение ΔT равно 19 °С, что практически в 1,2 раза выше значения ΔT у образца без добавок. Дальнейшее повышение температурного нагрева приводит к выравниванию показателей датчиков.

Использование каменной муки и молотого песка в акриловых защитных покрытиях с различными дозировками не выявило больших положительных отклонений в тепловой защите, поэтому данные компоненты не использовались в исследованиях.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сказать, что теплопроводящая способность у покрытий, модифицированных алюмосиликатными микросферами и асбестом, снижается (покрытие становится изолирующим) по сравнению с покрытием без добавок. Причем высокая изолирующая способность покрытий, модифицированных асбестом 5 %, сохраняется при воздействии высоких температур до 250 °С. А у покрытий, модифицированных алюминиевыми микросферами 1 %, после 120–130 °С теплоизолирующая способность снижается до уровня покрытий без добавок. Отрицательным фактором данных рецептур явились повышенная вязкость композиций и, как следствие, возрастающая толщина и увеличенный расход при окрашивании.

Модификация акриловых композиций различными видами наноразмерных добавок (углеродные нанотрубки, гидроксид магния, диоксиды кремния и титана, оксид церия и др.) показала, что оксид висмута и диоксид кремния при определенном содержании оказывают некоторое влияние на улучшение теплозащитных свойств покрытий. К сожалению, остальные нанодобавки в покрытиях из акриловых композиций не показали эффективности в тепловой защите и в дальнейших исследованиях не использовались.

В то же время предварительные исследования позволили сделать важный вывод о том, что монодобавки не могут привести к созданию эффективной защитной композиции на основе акриловых полимеров, требуется осуществить разработку бинарных сочетаний для проявления возможного синергетического эффекта. Учитывая предыдущий опыт и сведения из ранее опубликованных источников, были составлены соотношения и компоненты, основанные на использовании диоксидов кремния, висмута и углеродных нанотрубок [4, 6, 7].

В качестве добавок опробованы диоксиды висмута (Bi_2O_3) и кремния (SiO_2) в различном процентном соотношении. На рис. 2, а представлены

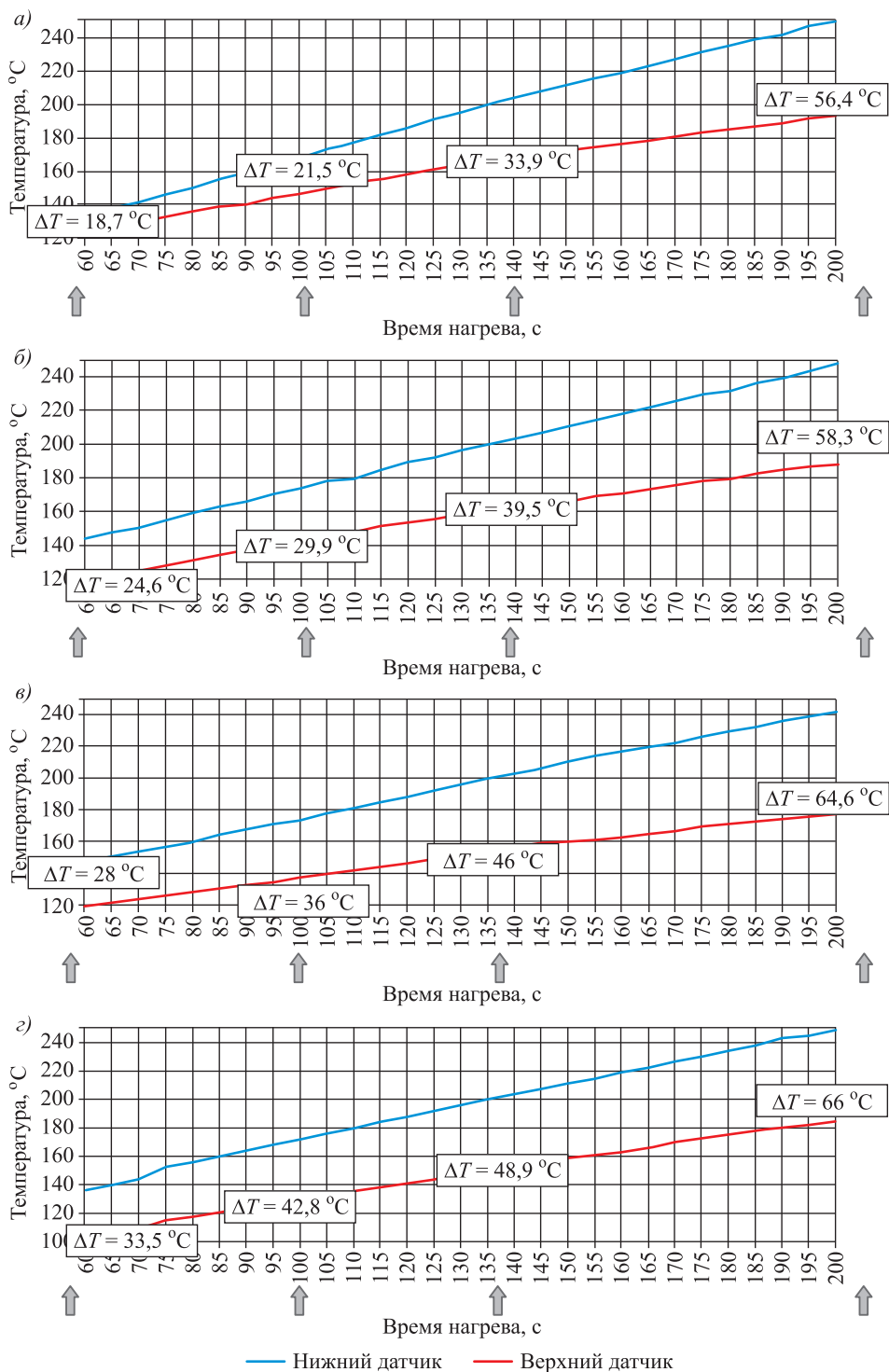


Рис. 2. Влияние бинарных добавок: Bi_2O_3 1% + SiO_2 0,5% (а), УНТ 0,1% + SiO_2 0,5% (б), Bi_2O_3 1% + УНТ 0,1% (в), УНТ 0,1% + SiO_2 1,0% (г) на теплозащитные качества акрилового покрытия

Fig. 2. The effect of the binary additives: Bi_2O_3 1% + SiO_2 0,5% (a), CNT 0,1% + SiO_2 0,5% (b), Bi_2O_3 1% + CNT 0,1% (c), CNT 0,1% + SiO_2 1,0% (d) on the heat-protective qualities of the acrylic coating

кривые нагревания образцов с защитным акриловым покрытием, модифицированным бинарной добавкой Bi_2O_3 1 % + SiO_2 0,5 %, показавшие высокие качества тепловой защиты, увеличивающиеся во время испытаний.

Интересные результаты получены при введении в состав акриловой композиции бинарной добавки, состоящей из углеродных нанотрубок (УНТ) и диоксида кремния (SiO_2). В этом случае интервал между показаниями датчиков составил более 58 °С, что соответствует задержке прохождения теплового потока на полторы минуты (рис. 2, б).

Еще более успешные результаты были получены при использовании в качестве бинарных добавок диоксида висмута (Bi_2O_3) и углеродных нанотрубок (УНТ), представленных на рис. 2, в в виде кривых нагревания образцов с защитным акриловым покрытием, модифицированным совместной добавкой Bi_2O_3 1 % + УНТ 0,1 %. В этом случае высокие качества тепловой защиты по интервалу задержки температуры достигают 64,6 °С. Таким образом, варьируя соотношением нанодобавок, можно получить композицию, обладающую высокими теплофизическими характеристиками.

Варьирование различных сочетаний наноразмерных добавок в составе акриловых защитных композиций позволило установить еще одну аномалию, дающую эффективную защиту при малых дозах дефицитных компонентов. Так, оказалось, что для составов бинарной добавки УНТ + SiO_2 при увеличении диоксида кремния с 0,5 до 1,0 % интервал задержки температуры между термодатчиками достигает 66 °С (рис. 2, з). Кроме того, при введении молотого асбеста этот интервал может доходить до 70 °С, одновременно увеличиваясь с повышением температуры.

Происходящие процессы формирования защитных акриловых покрытий с бинарными нанодобавками в зоне контакта с металлической поверхностью были детально исследованы методами термомеханики, а также на растровом электронном микроскопе. На рис. 3 приводятся термомеханические кривые, полученные для акриловых композиций с бинарными добавками, из которых

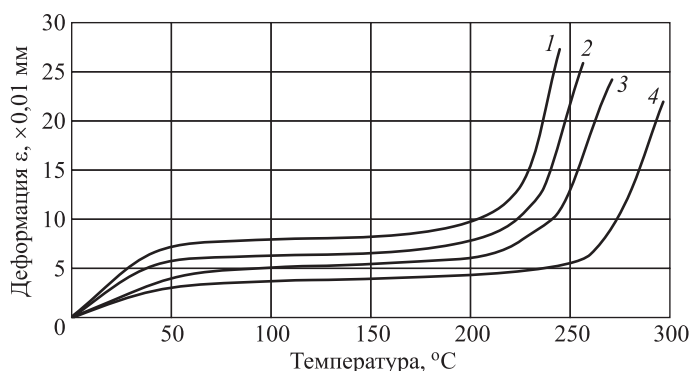


Рис. 3. Термомеханические кривые модифицированного покрытия при различном содержании бинарных нанодобавок
 1 – без добавок; 2 – Bi_2O_3 1 % + SiO_2 0,5 %; 3 – УНТ 0,1 % + SiO_2 0,5 %;
 4 – Bi_2O_3 1 % + УНТ 0,1 % и УНТ 0,1 % + SiO_2 1,0 %

Fig. 3. Thermomechanical curves of the modified coating with different contents of binary nanoadditives

1 – without additives; 2 – Bi_2O_3 1 % + SiO_2 0,5 %; 3 – CNT 0,1 % + SiO_2 0,5 %; 4 – Bi_2O_3 1 % + CNT 0,1 % and CNT 0,1 % + SiO_2 1,0 %

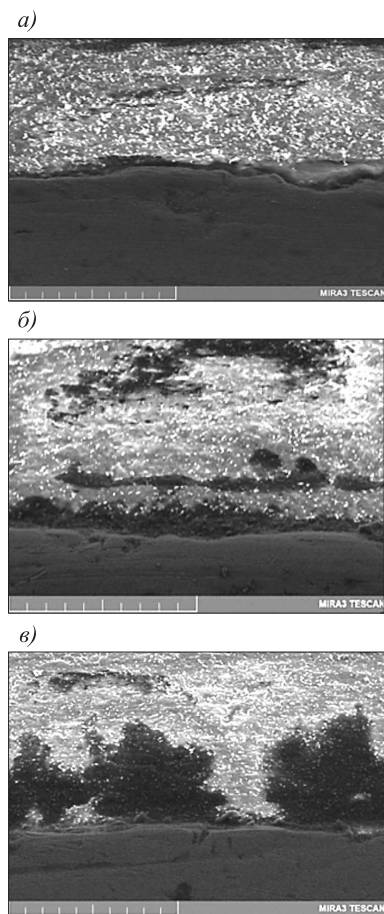


Рис. 4. Микроструктура контактной зоны защитного покрытия без нанодобавок (а) и с наноразмерными добавками (б – УНТ 0,1 % + Bi_2O_3 1 %, в – УНТ 0,1 % + SiO_2 1,0 %)

Fig. 4. Microstructure of the contact zone of the protective coating without nano-additives (a) and with nanoscale additives (b – CNT 0,1 % + Bi_2O_3 1 %, c – CNT 0,1 % + SiO_2 1,0 %)

следует, что большей термостабильностью и меньшей деформацией обладают именно составы покрытий с добавками УНТ 0,1 % + Bi_2O_3 (SiO_2) 1,0 %.

Помимо поверхностного слоя в материале покрытия также формируются участки с меньшим накоплением электронов (на электронном изображении имеют вид затемненных областей), т.е. характеризующие прохождение электронов (проводность) через покрытие. Различное значение величины приповерхностного слоя, размеров затемненных областей и времени накопления и стекания зарядов дает основание говорить об изменении параметров накопления и стекания зарядов при модификации покрытия (напряженность, плотность заряда и диэлектрическая проницаемость) и, как следствие, об увеличении

адгезионного взаимодействия за счет электрических сил, что согласуется с электрической теорией адгезии академика Б.В. Дерягина [10–12].

При анализе изображений растровой электронной микроскопии основных поверхностей покрытия (рис. 4) отмечено, что при модифицировании нанодобавками происходит активное взаимодействие УНТ с образованием гомогенной наноструктуры по фрактальному механизму. В дальнейшем с введением оксида висмута наблюдается образование гетерофазных фрактальных структур, армирующих весь композит. Введение оптимального расхода наноразмерных добавок УНТ (0,1 %) и SiO_2 (1 %) позволяет получить равномерную плотную микроармированную структуру.

Заключение. Установлены зависимости изменения теплофизических характеристик акриловых лакокрасочных покрытий от вида и количества вводимых нанодобавок и показано, что применение мононанодобавок практически не улучшает качество ЛКМ по термостойкости покрытий. Это позволило выработать новый подход в использовании наноразмерных добавок путем введения бинарных и тройных компонентов направленного действия. Отмечено положительное влияние диоксидов висмута и кремния в сочетании с углеродными нанотрубками (УНТ) на улучшение теплозащитных качеств покрытий, что подтверждается синергетическим эффектом, выражаемым в повышении температуры текучести с 180–210 до 250–260 °С на термомеха-

нической кривой со снижением величины деформации на 35–65 % при проведении термомеханических исследований. Выявлено изменение структуры контактной зоны, свидетельствующее об усиливающем влиянии нанодобавок за счет накопления и стекания зарядов при модификации покрытия, подтвержденное результатами растровой электронной микроскопии. Получены рецептуры защитных акриловых покрытий с бинарными наноразмерными добавками по интервалу задержки температуры, достигающие 65–66 °С, соответствующие задержке прохождения теплового потока на 90–100 с. Таким образом, варьируя соотношением нанодобавок можно получить композицию, обладающую высокими теплофизическими характеристиками.

Список источников

1. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пименов Е.Г., Никитенко К.А. Защитно-отделочные составы и композиции для ремонтных работ и обеспечения долговечности зданий // Изв. вузов. Строительство. 2019. № 9. С. 109–120.
2. Пчельников А.В. и др. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования // Изв. вузов. Строительство. 2020. № 6. С. 81–90.
3. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Пчельников А.В., Смирнова О.Е. Термомеханические исследования защитно-пропиточных композиций с наноразмерными и специальными добавками // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 3. С. 53–58.
4. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Банул В.В., Кудряшов А.Ю. Влияние наноразмерных добавок на адгезионную прочность защитных полимерных покрытий // Строит. материалы. 2018. № 1-2. С. 39–44.
5. Книгина Г.И., Тацки О.Н., Кучерова Э.А. Современные физико-химические методы исследования строительных материалов. Новосибирск, 1981. 82 с.
6. Артамонова О.В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов: Монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016. 100 с.
7. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Наномодифицирование систем твердения в структуре строительных композитов: Монография. Воронеж: Науч. книга, 2016. 132 с.
8. Тейтельбаум Б.Я. Термомеханический анализ полимеров. М.: Наука, 1979. 236 с.
9. Каргин В.А. Роль структурных явлений в формировании свойств полимеров // Прогресс полимерной химии. М.: Наука, 1969. С. 7–31.
10. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 280 с.
11. Дерягин Б.В., Кротова Н.А. Адгезия. Исследования в области прилипания и клеящего действия. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 244 с.
12. Хрулев В.М. Синтетические клеи и мастики. М.: Высш. шк., 1970. 368 с.

References

1. Pichugin A.P., Khritankov V.F., Smirnova O.E., Pimenov E.G., Nikitenko K.A. Protective and finishing compositions and compositions for repair work and ensuring the durability of buildings. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2019; (9): 109–120. (In Russ.).
2. Pchel'nikov A.V. et al. Modeling of the process and methods of gorenje evaluation of protective coatings of metal structures and equipment. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2020; (6): 81–90. (In Russ.).

3. Pichugin A.P., Khritankov V.F., Pchel'nikov A.V., Smirnova O.E. Thermomechanical studies of protective impregnating compositions with nanoscale and special additives. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya = Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2020; (3): 53–58. (In Russ.).
4. Pichugin A.P., Khritankov V.F., Banul V.V., Kudryashov A.Yu. The effect of nanoscale additives on the adhesive strength of protective polymer coatings. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials*. 2018; (1-2): 39–44. (In Russ.).
5. Knigina G.I., Tatsky O.N., Kucherova E.A. Modern physico-chemical methods of research of building materials. Novosibirsk, 1981. 82 p. (In Russ.).
6. Artamonova O.V. Synthesis of nanomodifying additives for technology construction composites: Monograph. Voronezh: Voronezh GASU, 2016. 100 p. (In Russ.).
7. Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of hardening systems in the structure of building composites: Monograph. Voronezh: Scientific Book, 2016. 132 p. (In Russ.).
8. Teytel'baum B.Ya. Thermomechanical analysis of polymers. Moscow: Nauka, 1979. 236 p. (In Russ.).
9. Kargin V.A. The role of structural phenomena in the formation of polymer properties. Progress of polymer chemistry. Moscow: Publishing house «Nauka», 1969. P. 7–31. (In Russ.).
10. Deryagin B.V., Krotova N.A., Smilga V.P. Adhesion of solids. Moscow: Nauka, 1973. 280 p. (In Russ.).
11. Deryagin B.V., Krotova N.A. Adhesion. Research in the field of adhesion and adhesive action. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1949. 244 p. (In Russ.).
12. Khrulev V.M. Synthetic adhesives and mastics. Moscow: Higher school, 1970. 368 p. (In Russ.).

Информация об авторах

А.П. Илясов – аспирант

А.В. Пчельников – кандидат технических наук, доцент

А.П. Пичугин – доктор технических наук, профессор

О.Е. Смирнова – кандидат технических наук, доцент

В.Ф. Хританков – доктор технических наук, профессор

Information about the authors

A.P. Piyasov – Post-graduate Student

A.V. Pchelnikov – PhD, Ass. Professor

A.P. Pichugin – DSc, Professor

O.E. Smirnova – PhD, Ass. Professor

V.F. Khritankov – DSc, Professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.01.2022

Одобрена после рецензирования 21.02.2022

Принята к публикации 04.03.2022

The article was submitted 21.01.2022

Approved after reviewing 21.02.2022

Accepted for publication 04.03.2022