

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛНОГО ЦВЕТОВОГО РАЗЛИЧИЯ ПИГМЕНТИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ В ПРОЦЕССЕ НАТУРНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ

**А. Н. Чернов, Т. А. Низина, Д. Р. Низин,
Ю. А. Ланкина, А. И. Горенкова, М. О. Карабанов**

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва (г. Саранск)*

Показаны результаты исследований влияния длительности натурального экспонирования на изменение декоративных характеристик наполненных микрокальцитом эпоксидных композитов, содержащих пигменты разных цветов и концентраций. Цель работы заключалась в оценке влияния интенсивности солнечной радиации на изменение колориметрических характеристик полимерных композитов различных цветов в процессе климатического старения. Исследуемые образцы представляли собой композиты на основе двухкомпонентного эпоксидного компаунда Этал-27НТ/12НТ, наполненного микрокальцитом фракции МКМ100 в количестве 160 % от массы эпоксидного связующего. При окрашивании полимерных композитов применялись пигменты желтого, красного, фиолетового, зеленого и синего цветов при их содержании от 0,25 до 1 % от массы связующего, а также пигмент черного цвета в количестве от 0,5 до 5 %. Образцы экспонировались на климатической площадке с 1 марта по 1 августа 2018 года. Для оценки изменения колориметрических характеристик использовались изображения, полученные путем сканирования на полноцветном сканере. Сканирование образцов производилось с периодичностью 14-16 дней.

В работе также представлено сравнение интенсивности деградации лицевой и обратной сторон исследуемых образцов. Количественное описание цвета производилось с помощью цветовой модели СМУКН. В качестве усредненного параметра, описывающего колориметрические характеристики образцов, использовалась полная цветовая насыщенность. Обработка полученных результатов проводилась с применением авторского программного комплекса. Рассчитаны коэффициенты предложенной экспоненциальной зависимости, позволяющей с высокой достоверностью описать изменение полного цветового различия по насыщенности лицевой и обратной поверхностей пигментированных эпоксидных покрытий в зависимости от длительности натурального экспонирования, что подтверждается высокими коэффициентами детерминации. Установлено, что при натурном экспонировании интенсивность изменения полного цветового различия на лицевой поверхности эпоксидных композитов от полутора до восьми раз выше, чем на их обратной стороне, что свидетельствует о существенном влиянии солнечного излучения на процессы деградации декоративных характеристик полимерных композитов в процессе климатического старения. При этом интенсивность изменения колориметрических показателей окрашенных полимерных покрытий существенно зависит от стойкости используемых пигментов к действию актинометрических и атмосферных факторов.

Ключевые слова: эпоксидные композиты; микрокальцит; пигменты; натурное экспонирование; полное цветовое различие; солнечная радиация.

Введение. Активное применение полимерных композиционных материалов оказало значительное влияние на все сферы производства [1]. Высокие механические характеристики при относительно низкой плотности позволяют широко использовать полимерные

композиты в авиационной и космической технике, машино- и вагоностроении [2-4]. Применение полимеров в строительстве изменило архитектурный облик и интерьер жилых и промышленных зданий, значительно увеличило долговечность и химическую стойкость

строительных конструкций [5]. Для защиты от агрессивных факторов активно используются антикоррозионные покрытия на основе синтетических смол [6, 7].

Сегодня существует широкий ассортимент полимерных покрытий с различными физико-механическими свойствами, что позволяет обеспечить защиту конструкций в самых разных условиях эксплуатации.

Для снижения себестоимости и повышения эксплуатационных характеристик в состав полимерного связующего вводятся различные наполнители [8-11]. Среди наполнителей для композитов строительного назначения наибольшее применение нашли измельченные природные пески и горные породы, каолин, тальк, базальт, мел, диатомит, древесная мука и различные синтетические волокна [12, 13]. В последние десятилетия в качестве наполнителя все чаще используется микрокальцит (микромрамор) – природный карбонатный наполнитель, получаемый при измельчении белого мрамора. Основными преимуществами этого наполнителя являются низкая стоимость, стабильность свойств в широком интервале температур, постоянство химического и гранулометрического состава [13, 14]. Имея высокую степень белизны, микромрамор может окрашивать полимерные материалы либо использоваться совместно с красящими пигментами [15], что обуславливает возможность его применения в качестве наполнителя для защитно-декоративных покрытий, назначение которых – не только антикоррозионная защита конструкций, но и придание им необходимого внешнего вида [16, 17].

Как известно, одним из существенных недостатков полимерных материалов на основе синтетических смол является низкая стойкость к действию климатических факторов [18, 19]. Старение полимеров – сложный процесс, представляющий собой совокупность физических и химических изменений, вызванных как внутренними особенностями материала, так и воздействием температуры, влажности, солнечной радиации и

вредных примесей в атмосфере. По мнению отечественных и зарубежных ученых, наиболее значимыми факторами, влияющими на климатическое старение полимеров, являются температура, влажность и ультрафиолетовое излучение [19, 20]. Изменение колориметрических характеристик, наблюдаемое уже в первые месяцы натурального экспонирования, в первую очередь обусловлено фотоокислительными реакциями в поверхностном слое полимера [16, 18]. При этом характер деградации может существенно различаться в зависимости от интенсивности солнечной радиации и цвета поверхности образцов [21, 22].

Согласно работе [18], окрашивающие вещества способны оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на светостойкость изделия, а их взаимодействие с реакционноспособными компонентами в составе полимерного композита существенно влияет на процессы окисления при климатическом старении. Отмечается, что светостойкость окрашенных полимеров зависит от цвета и химического состава пигментов, их концентрации и распределения в композите, вида связующего и присутствия наполнителей, размеров изделия, интенсивности и длительности воздействия солнечного света и других климатических факторов [15, 18].

Целью проведенных исследований являлась оценка влияния интенсивности солнечной радиации на изменение колориметрических характеристик полимерных композитов различных цветов в процессе климатического старения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

- 1) произведено количественное описание изменения декоративных характеристик композитов в зависимости от вида и содержания окрашивающих пигментов;
- 2) предложена математическая модель, позволяющая с высокой достоверностью описывать изменение колориметрических характеристик полимерных композитов в зависи-

мости от длительности натурального экспонирования;

3) путём сравнения полных цветовых различий лицевых и обратных поверхностей исследуемых образцов выявлено влияние солнечной радиации на изменение декоративных характеристик полимерных композиционных материалов при натурном экспонировании.

Техника проведения эксперимента. В рамках данного экспериментального исследования изучено изменение цветовых характеристик полимерных образцов с различным цветом поверхности, экспонированных на климатической площадке эколого-метеорологической станции МГУ им. Н.П. Огарёва (г. Саранск) с 1 марта по 1 августа 2018 года. Исследуемые образцы представляют собой композиты на основе двухкомпонентного эпоксидного компаунда Этал-27НТ/12НТ, наполненного микрокальцитом фракции МКМ100 в количестве 160 % от массы эпоксидного связующего. При окрашивании применялись пигменты желтого, красного, фиолетового, зеленого и синего цветов при их содержании от 0,25 до 1 % от массы связующего, а также пигмент черного цвета в количестве от 0,5 до 5 %. В качестве контрольного использовался неокрашенный композит.

Для оценки изменения колориметрических характеристик использовались изображения, полученные путем сканирования на полноцветном сканере CanoScan 9000F Mark II с разрешением 1200 dpi. Размер сканируемых поверхностей составлял 65×65 мм, что позволяло одновременно обрабатывать 9,4 млн значений. Сканирование образцов производилось через 14-16 дней. Обработка проводилась с помощью авторского программного комплекса «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий» [23]. Для определения интенсивности воздействия солнечной радиации сравнивались изменения декоративных характеристик лицевой и обратной поверхностей образцов.

Математическая обработка результатов. Количественное описание цвета производилось с помощью цветовой модели СМУКН. В качестве усредненного параметра, описывающего колориметрические характеристики образцов, использовалась полная цветовая насыщенность [15], определяемая по формуле

$$E_{\text{СМУКН}} = \sqrt{S_C^2 + S_M^2 + S_Y^2 + S_K^2 + S_H^2}, \quad (1)$$

где S_C , S_M , S_Y , S_K и S_H – цветовое различие по насыщенности голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости.

Оценка цветового различия по насыщенности производилась путем сравнения цветовых характеристик исследуемого образца с абсолютно белым с максимальной плотностью распределения $f(X) = 100\%$ при $X = 255$:

$$S_p = \sum_{i=0}^{255} (255 - X_{pi}) \cdot f(X_{pi}) / (255 \cdot 100), \quad (2)$$

где X_{pi} – уровень цветовой составляющей, изменяющийся от 0 до 255;

$f(X_{pi})$ – плотность распределения.

На основании полученных результатов были построены графические зависимости изменения колориметрических характеристик образцов, содержащих пигменты различного цвета и концентрации, от длительности экспонирования. На графиках представлены кривые, описывающие цвета как на лицевой (сплошные линии), так и на обратной (штриховые линии) стороне исследуемых образцов. При построении аппроксимирующих кривых использовалась экспоненциальная зависимость вида

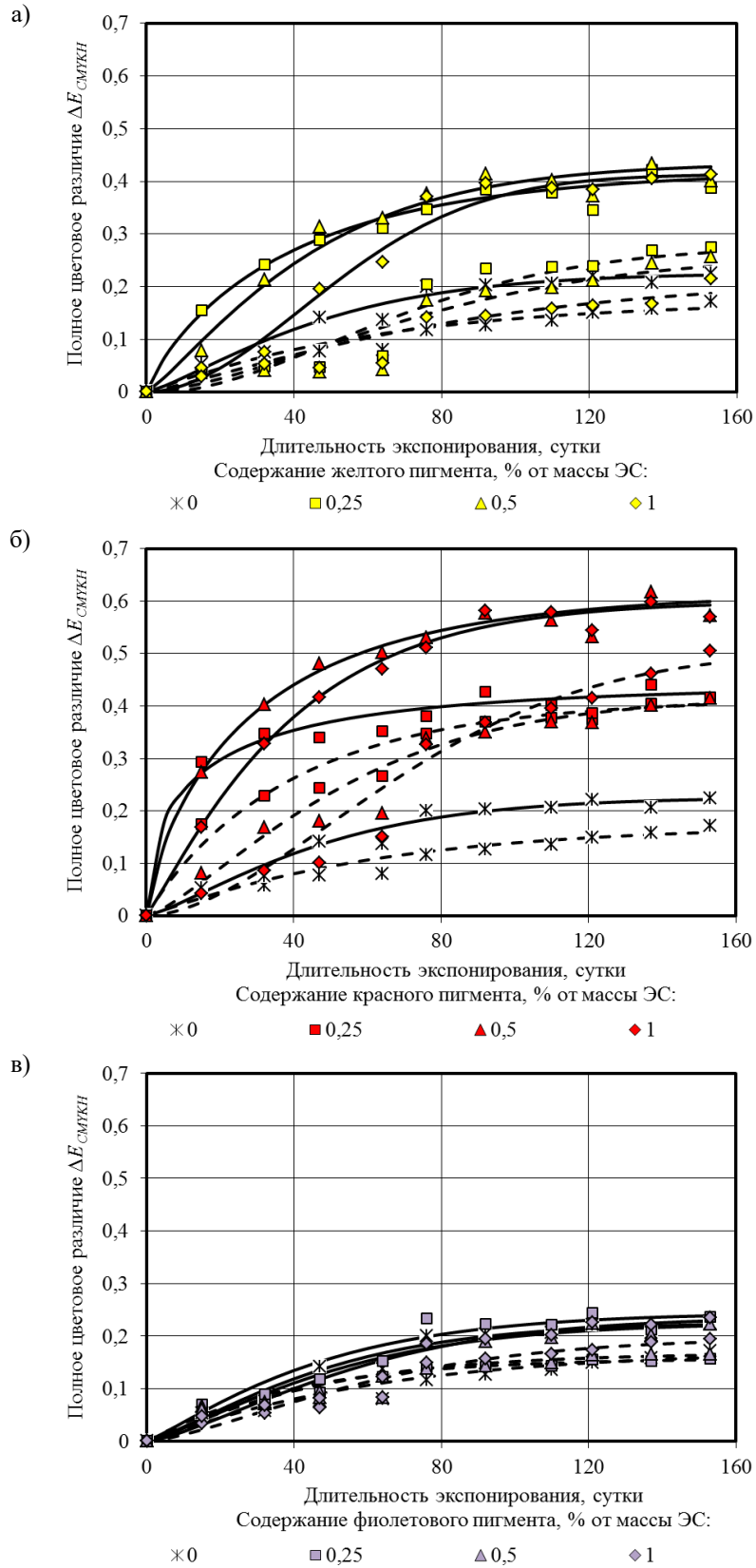
$$\Delta E_t = \Delta E_{\text{max}}(1 - \exp(-\alpha \cdot t^\beta)), \quad (3)$$

где ΔE_{max} , α , β – коэффициенты, зависящие от вида исследуемого материала и длительности экспонирования t (сутки).

Значения коэффициентов уравнения (3) представлены в таблице, графические зависимости изменения полного цветового различия образцов с различным содержанием желтого, красного и фиолетового пигментов от длительности экспонирования показаны на рисунке.

**Значения коэффициентов уравнения (3), описывающего изменение полного цветового различия
наполненных пигментированных эпоксидных композитов
в зависимости от длительности экспонирования в натуральных условиях**

Цвет используемого пигмента	Поверхность	Концентрация пигмента, % от массы связующего	Коэффициенты уравнения (3)			R^2
			ΔE_{max}	α	β	
Без пигмента	Лицевая	0	0,226	$0,70 \times 10^{-2}$	1,268	0,967
	Обратная		0,172	$1,29 \times 10^{-2}$	1,054	0,932
Жёлтый	Лицевая	0,25	0,422	$4,31 \times 10^{-2}$	0,857	0,977
		0,5	0,435	$0,98 \times 10^{-2}$	1,200	0,973
		1	0,413	$0,04 \times 10^{-2}$	1,906	0,980
	Обратная	0,25	0,277	$0,06 \times 10^{-2}$	1,708	0,907
		0,5	0,258	$0,09 \times 10^{-2}$	1,583	0,885
		1	0,216	$0,45 \times 10^{-2}$	1,213	0,877
Зеленый	Лицевая	0,25	0,139	$4,28 \times 10^{-2}$	0,785	0,788
		0,5	0,408	$0,005 \times 10^{-2}$	2,168	0,890
		1	0,317	$0,05 \times 10^{-2}$	1,731	0,843
	Обратная	0,25	0,125	$34,03 \times 10^{-2}$	0,353	0,799
		0,5	0,308	$0,13 \times 10^{-2}$	1,569	0,889
		1	0,232	$0,30 \times 10^{-2}$	1,285	0,819
Красный	Лицевая	0,25	0,441	$22,66 \times 10^{-2}$	0,534	0,969
		0,5	0,619	$7,35 \times 10^{-2}$	0,767	0,985
		1	0,600	$1,69 \times 10^{-2}$	1,106	0,991
	Обратная	0,25	0,414	$3,00 \times 10^{-2}$	0,953	0,952
		0,5	0,416	$0,47 \times 10^{-2}$	1,320	0,946
		1	0,507	$0,05 \times 10^{-2}$	1,732	0,957
Синий	Лицевая	0,25	0,360	$0,02 \times 10^{-2}$	1,964	0,938
		0,5	0,361	$0,02 \times 10^{-2}$	1,996	0,940
		1	0,387	$0,06 \times 10^{-2}$	1,745	0,947
	Обратная	0,25	0,304	$0,27 \times 10^{-2}$	1,392	0,923
		0,5	0,200	$0,22 \times 10^{-2}$	1,439	0,928
		1	0,289	$0,22 \times 10^{-2}$	1,310	0,859
Фиолетовый	Лицевая	0,25	0,244	$1,14 \times 10^{-2}$	1,154	0,930
		0,5	0,225	$0,63 \times 10^{-2}$	1,270	0,936
		1	0,236	$0,34 \times 10^{-2}$	1,384	0,956
	Обратная	0,25	0,158	$2,33 \times 10^{-2}$	1,023	0,973
		0,5	0,167	$1,36 \times 10^{-2}$	1,121	0,887
		1	0,196	$0,25 \times 10^{-2}$	1,429	0,950
Черный	Лицевая	0,5	0,107	$41,90 \times 10^{-2}$	0,228	0,664
		1	0,313	$0,19 \times 10^{-2}$	1,372	0,904
		5	0,436	$0,003 \times 10^{-2}$	2,368	0,900
	Обратная	0,5	0,111	$3,31 \times 10^{-2}$	0,851	0,837
		1	0,296	$0,07 \times 10^{-2}$	1,592	0,903
		5	0,412	$0,02 \times 10^{-3}$	2,426	0,966
Без пигмента	Лицевая	0	0,226	$0,70 \times 10^{-2}$	1,268	0,967
	Обратная		0,172	$1,29 \times 10^{-2}$	1,054	0,932



Изменение полного цветового различия наполненных эпоксидных композитов с различным содержанием пигментов в зависимости от длительности экспонирования:
а – желтый; *б* – красный; *в* – фиолетовый
 (сплошная линия – лицевая сторона, штриховая – обратная)

Интерпретация результатов. Из анализа полученных данных видно, что интенсивность изменения декоративных характеристик выше на лицевой поверхности образца, что свидетельствует о значительном влиянии ультрафиолетового излучения на процессы климатического старения. Наибольшие изменения декоративных характеристик, зафиксированные уже с первого месяца натурального экспонирования, получены для образцов красного и желтого цветов.

Для всех исследуемых составов установлено постепенное снижение интенсивности прироста полного цветового различия на лицевых поверхностях с увеличением длительности натурального экспонирования. Поскольку фотоокислительной деструкции подвержен только поверхностный слой полимерных композитов, стабилизация декоративных показателей может быть связана с уменьшением числа реакционноспособных молекулярных цепочек и скоплением на поверхности продуктов фотоокисления или реакций материала с влагой, содержащейся в окружающем воздухе.

Наибольшие изменения колориметрических характеристик получены для композитов, содержащих 0,5 и 1,0 % красного пигмента (рис. 1, б). Причем высокая интенсивность деградации наблюдается как на лицевой, так и на обратной поверхности образца, что свидетельствует о низкой атмосферостойкости данного пигмента. Величина изменений полного

цветового различия лицевой поверхности образцов, содержащих 0,5 % желтого пигмента, на втором месяце экспонирования в 8 раз превысила изменение аналогичных показателей изнаночной стороны. При других концентрациях желтого пигмента также установлена значительная неравномерность деградации лицевой и изнаночной поверхностей. Для образцов, содержащих синий, фиолетовый и черный пигменты, напротив, разница между изменением декоративных характеристик лицевой и изнаночной поверхностей минимальна (не более 1,5 раз). Наибольшую стабильность свойств при климатическом старении имеют композиты, содержащие 0,5 % черного пигмента и неокрашенные образцы.

Выводы. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о значительном влиянии солнечного излучения на изменение цветовых характеристик полимерных материалов в процессе климатического старения. Интенсивность деградации колориметрических показателей окрашенных эпоксидных композитов существенно зависит от стойкости используемых пигментов к действию актинометрических и атмосферных факторов.

Таким образом, при разработке защитно-декоративных покрытий, эксплуатируемых в натуральных условиях, необходимо учитывать климатическую стойкость пигментированных композитов с учетом цвета и количественного содержания используемого пигмента.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-08-01050.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хозин В. Г. Основные области применения эпоксидных материалов в технике // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. № 11. С. 12–16.
2. Каблов Е. Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. № 3. С. 2–14.
3. Рогов В. А. Соловьев В. В., Копылов В. В. Новые материалы в машиностроении. Москва: РУДН, 2008. 324 с.
4. Баженов С. Л. Механика и технология композиционных материалов: научное издание. Долгопрудный: Интеллект, 2014. 328 с.
5. Пахаренко В. А., Пахаренко В. В., Яковлева Р. А. Пластмассы в строительстве. Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2010. 350 с.
6. Полимерные покрытия для бетонных и железобетонных конструкций / В. П. Селяев, Ю. М. Баженов, Ю. А. Соколова, В. В. Цыганов, Т. А. Низина. Саранск: Изд-во СВМО, 2010. 224 с.
7. Schweitzer P. A. Corrosion-Resistant Linings and Coatings. New York: Marcel Dekker Inc., 2001. 309 p.

8. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / под ред. А.А. Берлина. 3-е испр. изд. Санкт-Петербург: Профессия, 2011. 560 с.
9. Leblanc J.L. Filled Polymers: Science and Industrial Applications. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010. 428 p.
10. Rothon R. (Ed.) Particulate-Filled Polymer Composites. 2nd edition. New York: Knovel, Rapra Technology Limited, 2008. 560 p.
11. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов / А. С. Колосова, М. К. Сокольская, И. А. Виткалова, А. С. Торлова, Е. С. Пикалов // Фундаментальные исследования. 2017. №10–3. С. 459–465. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41858> (дата обращения 09.12.2018).
12. Rothon R. (Ed.) Fillers for Polymer Applications. Switzerland: Springer International Publishing, 2017. 486 p.
13. Функциональные наполнители для пластмасс / под ред. М. Ксантоса; пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева. Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2010. 462 с.
14. Wypuch G. Handbook of fillers. 4th edition. Toronto: ChemTec Publishing, 2016. 922 p.
15. Müller A. Coloring of plastics. Fundamentals – Colorants – Preparations. Munich: Carl Hanser Verlag, 2003. 278 p.
16. Низина Т. А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 258 с.
17. Kutz M. Handbook of Environmental Degradation of Materials. New York: William Andrew Publishing, 2005. 598 p.
18. Ehrenstein G., Pongratz S. Resistance and Stability of Polymers. Ohio: Hanser Publications, 2013. 1454 p.
19. Павлов И. Н., Мелкумов А. Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. Москва: Химия, 1982. 220 с.
20. Environmental degradation of epoxy-organoclay nanocomposites due to UV exposure. Part I: Photodegradation / R. S. C. Woo, H. Zhu, C. K.Y. Leung, J. Kim // Compos. Sci. Technol. 2007. Vol. 67. No. 15–16. P. 3448–3456.
21. Моделирование влияния актинометрических параметров на изменение декоративных характеристик эпоксидных композитов, экспонированных в натуральных условиях / Т. А. Низина, В. П. Селяев, Д. Р. Низин, А. Н. Чернов // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 27–36.
22. Влияние цвета эпоксидных композитов на изменение колориметрических характеристик в процессе натурального экспонирования / Т. А. Низина, А. Н. Чернов, Д. Р. Низин, А. И. Попова // Вестник МГСУ. 2016. № 7. С. 67–80.
23. Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610820 от 28.02.2006 г. в Роспатенте по заявке № 2005613472 от 29.12.2005 г. / В. П. Селяев, Т. А. Низина, Н. О. Зубанкова, Ю. А. Ланкина.

Информация об авторах

НИЗИНА Татьяна Анатольевна – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций, советник РААСН. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – защитно-декоративные покрытия на основе полимерных связующих. Автор более 420 опубликованных научных и методологических трудов. E-mail: nizinata@yandex.ru.

ЧЕРНОВ Алексей Николаевич – аспирант кафедры строительных конструкций. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – климатическая стойкость полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих. Автор 37 научных публикаций. E-mail: lhms13@yandex.ru.

НИЗИН Дмитрий Рудольфович – кандидат технических наук, младший научный сотрудник кафедры строительных конструкций. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – климатическая и химическая стойкость полимерных композитов. Автор 76 научных публикаций. E-mail: nizindi@yandex.ru.

ЛАНКИНА Юлия Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций. Национальный исследовательский Мордовский государственный универ-

ситет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – климатическая и химическая стойкость полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих. Автор 43 научных публикаций. E-mail: julankina@yandex.ru

ГОРЕНКОВА Анастасия Ивановна – магистрант. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – полимерные композиционные материалы на основе модифицированных эпоксидных связующих. Автор 18 научных публикаций. E-mail: gorenkovaai@mail.ru

КАРАБАНОВ Максим Олегович – магистрант. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск. Область научных интересов – климатическая стойкость строительных композиционных материалов. Автор 4 научных публикаций. E-mail: vavilin_andrej@list.ru

UDC 691.17:535:6.08

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.34

CHANGING OF THE FULL COLOUR DIFFERENCE OF PIGMENTED POLYMER COMPOSITES IN THE PROCESS OF NATURAL CLIMATIC AGEING

***A. N. Chernov, T. A. Nizina, D. R. Nizin,
Iu. A. Lankina, A. I. Gorenkova, M. O. Karabanov
Ogarev Mordovia State University (Saransk)***

The paper presents the research results of the effect of duration of full-scale exposure on the changes of decorative characteristics of microcalcite epoxy composites containing pigments of different colours and concentrations. The work is aimed at the assessing of the influence of the intensity of solar radiation on the change in the colourimetric characteristics of polymer composites of various colours in the process of climatic ageing. The samples under study constituted composites based on a two-component epoxy compound Etal-27NT / 12HT, filled with microcalcite fraction MKM100 in the amount of 160% by weight of the epoxy binder. When colouring of polymer composites, the pigments of yellow, red, violet, green and blue colours with their content from 0.25 to 1 % by weight of the binder have been used, as well as a black pigment in an amount from 0.5 to 5 %. The samples have been exhibited at the climate site from March 1 to August 1, 2018. In order to assess the changes in colourimetric characteristics the authors applied the images obtained by full-colour scanning. Scanning intervals for the samples varied from 14–16 days.

The paper comparatively analyses the intensity of degradation of the front and back sides of the samples. A quantitative description of the colour has been produced using the CMYKH colour model. As the average parameter describing the colourimetric characteristics of the samples, the authors used the full saturation of colour. The obtained results have been processed using the authentic software package. The coefficients of the proposed exponential dependence have been calculated. It allowed to provide a more accurate description of the full colour difference on saturation on the front and back surfaces of pigmented epoxy coatings depending on the duration of full-scale exposure, which has been confirmed by high coefficients of determination. The authors have revealed that during full-scale exposure, the intensity of changes of the full colour difference on the front surface of epoxy composites ranges higher by 1.5 to 8 times than on their reverse side, which indicates a significant effect of solar radiation on the degradation processes of decorative characteristics of polymer composites during climatic ageing. Wherein the intensity of changes of colourimetric indicators of colour polymer coatings significantly depends on the resistance of the applied pigments to actinometrical and atmospheric factors.

Keywords: epoxy composites; microcalcite; pigments; full-scale exposure; full colour difference; solar radiation.

REFERENCES

1. Khozin V. G. Osnovnye oblasti primeneniya epoksidnykh materialov v tekhnike [The main areas of application of epoxy materials in engineering], *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik* [All materials. Encyclopedic reference], 2008, No. 11, pp. 12-16.
2. Kablov E. N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace Materials], *Vse materialy: entsiklopedicheskiy spravochnik* [All materials. Encyclopedic reference], 2008, No. 3, pp. 2–14.
3. Rogov V. A. Solovov V. V., Kopylov V. V. Novye materialy v mashinostroenii [New Materials in Mechanical Engineering], Moscow: RUDN, 2008, 324 p.
4. Bazhenov S. L. Mekhanika i tekhnologiya kompozitsionnykh materialov: nauchnoe izdanie [Mechanics and technology of composite materials: Scientific publication], Dolgoprudny: Intellekt, 2014, 328 p.
5. Pakhareno V. A., Pakhareno V. V., Yakovleva R. A. Plastmassy v stroitel'stve [Plastics in building], Saint Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii [Scientific bases and technologies], 2010, 350 p.
6. Selyaev V. P., Bazhenov Iu. M., Sokolova Iu. A., Cyganov V. V., Nizina T. A. Polimernye pokrytiya dlya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy [Polymer coatings for concrete and reinforced concrete structures], Saransk: Publishing House SVMO, 2010, 224 p.
7. Schweitzer P. A. Corrosion-Resistant Linings and Coatings, New York: Marcel Dekker Inc., 2001, 309 p.
8. Berlin A. A. Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya: uchebnoe posobie, 3-e ispravlennoe izdanie [Polymer composite materials: structure, properties, technology: a tutorial. 3rd revised edition], Saint Petersburg: Professiya, 2011, 560 p.
9. Leblanc J. L. Filled Polymers: Science and Industrial Applications, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010, 428 p.
10. Rother R. (Ed.) Particulate-Filled Polymer Composites, 2nd edition, New York: Knovel, Rapra Technology Limited, 2008, 560 p.
11. Kolosova A. S., Sokol'skaya M. K., Vitkalova I. A., Torlova A. S., Pikalov E. S. Napolniteli dlya modifikatsii sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov [Fillers for the modification of modern polymer composite materials], *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2017, No. 10–3, pp. 459-465. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41858> (data obrashcheniya 09.12.2018).
12. Rother R. (Ed.) Fillers for Polymer Applications, Switzerland: Springer International Publishing, 2017, 486 p.
13. Funktsional'nye napolniteli dlya plastmass [Functional fillers for plastics], pod red. Ksantos M. per. s angl. pod red. V.N. Kulezneva, Saint Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2010, 462 p.
14. Wypych G. Handbook of fillers, 4th edition, Toronto: ChemTec Publishing, 2016, 922 p.
15. Müller A. Colouring of plastics. Fundamentals – Colourants – Preparations, Munich: Carl Hanser Verlag, 2003, 278 p.
16. Nizina T. A. Zashchitno-dekorativnye pokrytiya na osnove epoksidnykh i akrilovykh svyazuyushchih [Protective and decorative coatings based on epoxy and acrylic binders], Saransk: Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta [Mordovia University Publishing House], 2007, 258 p.
17. Kutz M. Handbook of Environmental Degradation of Materials, New York: William Andrew Publishing, 2005, 598 p.
18. Ehrenstein G., Pongratz S. Resistance and Stability of Polymers, Ohio: Hanser Publications, 2013, 1454 p.
19. Pavlov I. N., Melkumov A. N. Starenie plastmass v estestvennykh i iskusstvennykh usloviyakh [Ageing plastics in natural and artificial conditions], Moscow: Khimiya [Chemistry], 1982, 220 p.
20. Woo R. S. C., Zhu H., C. Leung K.Y., Kim J. Environmental degradation of epoxy-organoclay nanocomposites due to UV exposure. Part I: Photo-degradation, *Compos. Sci. Technol*, 2007, Vol. 67, No. 15-16, pp. 3448–3456.
21. Nizina T.A., Selyaev V.P., Nizin D.R., Chernov A.N. Modelirovanie vliyaniya aktinometricheskikh parametrov na izmenenie dekorativnykh kharakteristik epoksidnykh kompozitov, eksponirovannykh v naturnykh usloviyakh [Modeling of the influence of actinometric parameters on the change in the decorative characteristics of epoxy composites exposed in natural conditions], *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and engineering], 2015, No. 2, pp. 27–36.
22. Nizina T.A., Chernov A.N., Nizin D.R., Popova A.I. Vliyanie tsveta epoksidnykh kompozitov na izmenenie kolorimetricheskikh kharakteristik v protsesse naturnogo eksponirovaniya [The effect of the colour of epoxy composites on the change in colourimetric characteristics during full-scale exposure], *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], 2016, No. 7, pp. 67–80.
23. Selyaev V. P., Nizina T. A., Zubankova N. O., Lankina Iu. A. Statisticheskij analiz cvetovykh sostavlyayushchih lakokrasochnykh pokrytij [Statistical analysis of the colour components of paint coatings], Patent RF No. 2006610820, 2006.

Information about the authors

NIZINA Tatiana Anatolevna – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Building Structures, Advisor of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – protective and decorative coatings based on polymer binders. Author of more than 420 publications. E-mail: nizinata@yandex.ru.

CHERNOV Aleksei Nikolaevich – post-graduate student of the Department of Building Structures, Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – climatic resistance of polymer composite materials based on epoxy binders. Author of 37 publications. E-mail: lhms13@yandex.ru.

NIZIN Dmitrii Rudolfovich – Research Assistant of the Department of Building Structures, Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – climatic and chemical resistance of polymer composites. Author of 76 publications. E-mail: nizindi@yandex.ru.

LANKINA Iuliia Alekseevna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – climatic resistance of polymer composite materials based on epoxy binders. Author of 43 publications. E-mail: julankina@yandex.ru

GORENKOVA Anastasiia Ivanovna – master student, Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests-polymer composite materials based on modified epoxy binders. Author of 18 publications. E-mail: gorenkovaai@mail.ru

KARABANOV Maksim Olegovich – master student, Ogarev Mordovia State University, Saransk. Research interests – climatic resistance of polymer composite materials based on epoxy binders. Author of 4 publications. E-mail: vavilin_andrej@list.ru

Библиографическая ссылка

Изменение полного цветового различия пигментированных полимерных композитов в процессе натурального климатического старения / А. Н. Чернов, Т. А. Низина, Д. Р. Низин, А. И. Горенкова, Н. С. Светликова, А. Н. Вавилин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 4(12). – С. 34-43. – DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.34