

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691:678.744.4

М.М. ЗОТКИНА, В.В. АФОНИН, В.Т. ЕРОФЕЕВ, Ю.В. ВАНЬКОВ,  
А.В. ЗОТКИН

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИЭФИРНЫХ КОМПОЗИТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ЦИКЛИЧНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Произведена оценка изменения цвета полиэфирных композиционных материалов декоративного назначения в результате циклического воздействия климатических факторов. Анализ исследуемых свойств производился при помощи программного комплекса для оценки изменения декоративных свойств композиционных материалов, эксплуатирующихся в условиях воздействия физических, химических, биологических и климатических факторов. Установлены зависимости изменения кодов RGB и построены гистограммы насыщенности яркости цвета пигментированных полиэфирных композитов после воздействия агрессивных факторов, смоделированных в климатической камере. Выявлены составы с лучшими показателями, стойкие к деградации цвета, эксплуатирующиеся под влиянием УФ-излучения, положительных температур и влажности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** полиэфирные композиты, пигменты, климатические испытания, декоративные свойства, изменение кодов RGB, интенсивность яркости, насыщенность.

DOI 10.32683/0536-1052-2021-748-4-30-40

Наряду с эпоксидными, фенолформальдегидными и карбамидными композитами в строительной отрасли находят широкое применение полимерные материалы на основе полиэфирных смол, которые подразделяются на полиэфиракрилатные и полиэфирмалеинатные. Достоинством полиэфирных смол является низкая вязкость, что позволяет формировать на их основе высоконаполненные материалы с высокими показателями прочности и химического сопротивления [1–3].

Сопротивление полимерных материалов в условиях воздействия агрессивных сред, как правило, оценивается по изменению массосодержания и физико-механических свойств [4–6]. В то же время для декоративных строи-

© Зоткина М.М., Афонин В.В., Ерофеев В.Т., Ваньков Ю.В., Зоткин А.В.,  
2021

Таблица 1. Количественное содержание компонентов в составах на основе полиэфирной смолы ПН-609-21М, % от массы смолы

Состав	ПН-609-21М	Бутанокс М50	УНК-2	Содержание пигмента	Пигмент
1	100	1,77	1,21	7,55	Красный ж/о
2	100	1,77	1,21	15,00	Коричневый ж/о
3	100	1,77	1,21	8,44	Fepren НМ-470 коричневый ж/о
4	100	1,77	1,21	4,89	Желтый ж/о
5	100	1,77	1,21	5,24	S722 черный ж/о

тельных материалов важно во время эксплуатации сохранить их эстетические свойства. Изучение данных вопросов особенно актуально для полиэфирных композитов, которые чаще по сравнению с материалами на других вяжущих используются для изготовления окрашенных различных строительных и промышленных изделий [7–9].

Авторами на протяжении многих лет проводятся исследования по моделированию стойкости, оценке изменения декоративных свойств различных композитов на основе органических и неорганических связующих, эксплуатирующихся в условиях химических и биологических агрессивных сред [10–15]. Важной является оценка изменения декоративных свойств полиэфирных композитов при воздействии циклически действующих температур. В этой связи цель работы состояла в установлении стойкости полиэфирных композитов при различных температурно-влажностных условиях в климатической камере.

*Задачами исследований* являлись:

1. Изучить полиэфирные композиты на основе полиэфирмалеинатной смолы, окрашенные пигментами различного типа.
2. Подобрать составы лакокрасочных материалов по показателю укрывистости.
3. Выявить изменения кодов RGB и интенсивности яркости декоративных полиэфирных композитов с помощью методики оценки изменения декоративных свойств композиционных материалов, эксплуатирующихся в условиях воздействия физических, химических, биологических и климатических факторов<sup>1</sup>.

*Материалы и методы исследований.* Для проведения испытаний были изготовлены образцы ПКМ на основе полиэфирной смолы ПН-609-21М (ГОСТ 27952–88) с различными типами неорганических пигментов. Введение пигментов в смолу осуществлялось в соответствии с минимальным количеством, требуемым для обеспечения укрывистости (табл. 1).

Образцы указанных составов находились в течение 40 циклов в климатической камере. Нами исследовалось влияние циклического воздействия поло-

<sup>1</sup> Программный комплекс для оценки изменения декоративных свойств композиционных материалов, эксплуатирующийся в условиях воздействия физических, химических, биологических и климатических факторов: программа для ЭВМ / В.Т. Ерофеев, В.В. Афонин, М.М. Зоткина и др. Свидетельство № 2015610108. Зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 12.01.2015.

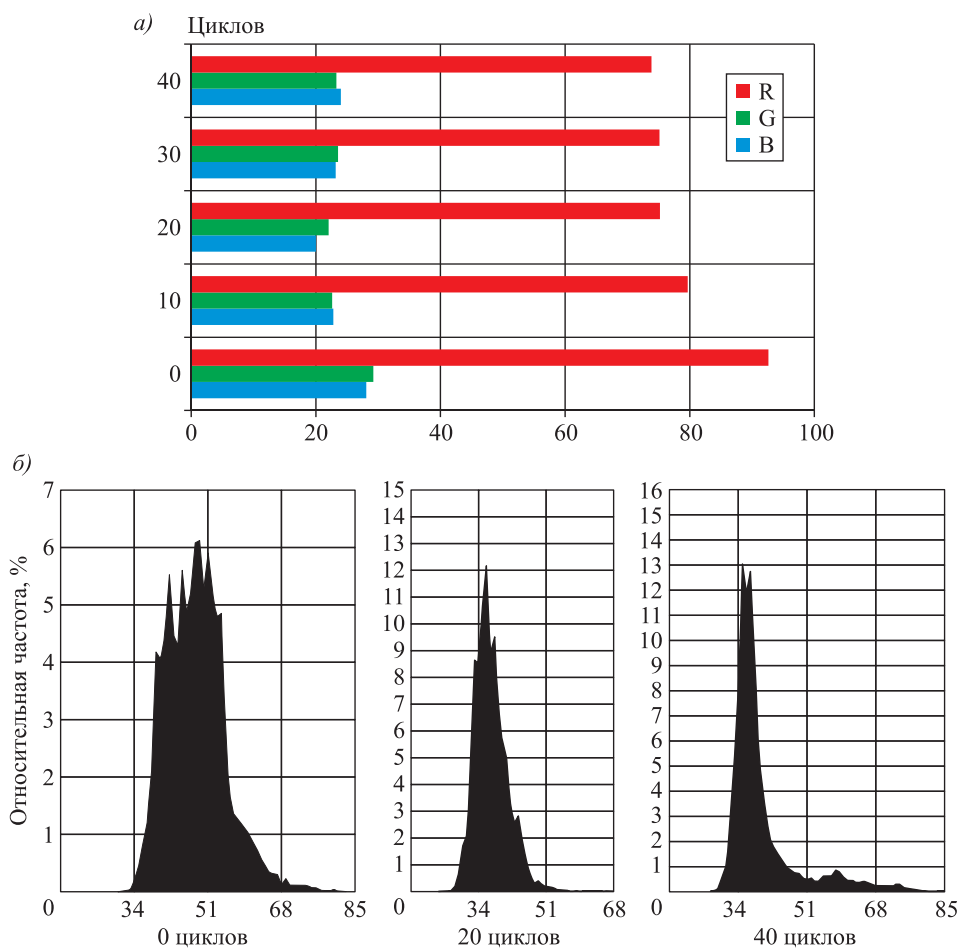


Рис. 1. Изменение кодов RGB (а) и интенсивности яркости (б) полиэфирного композита с пигментом красный ж/о (состав 1)

жительных температур, УФ-излучения, попеременной высокой и низкой влажности. В качестве изменяющихся климатических факторов рассматривался режим: 300 мин сухого периода и 60 мин влажного периода. Температура в течение сухого периода поддерживалась 60 °С, влажность – 5–15 %, при этом интенсивность УФ-излучения составляла 45 Вт/м<sup>2</sup>. Во время влажного периода образцы подвергались орошению водой с интенсивностью 10 л/мин · м<sup>2</sup>, температура воздуха в камере 20–25 °С, воздействие УФ-излучения отсутствовало.

Изменение цвета поверхности образцов контролировалось через каждые 10 циклов с помощью программного комплекса для оценки изменения декоративных свойств композиционных материалов, эксплуатирующихся в условиях воздействия физических, химических, биологических и климатиче-

<sup>2</sup> Программа анализа декоративных свойств защитных покрытий по строительным конструкциям с учетом коэффициентов корреляции и нормированной автокорреляционной функции: программа для ЭВМ / В.Т. Ерофеев, Н.В. Черушова, В.В. Афонин. Свидетельство № 2014612723. Зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 05.03.2014.

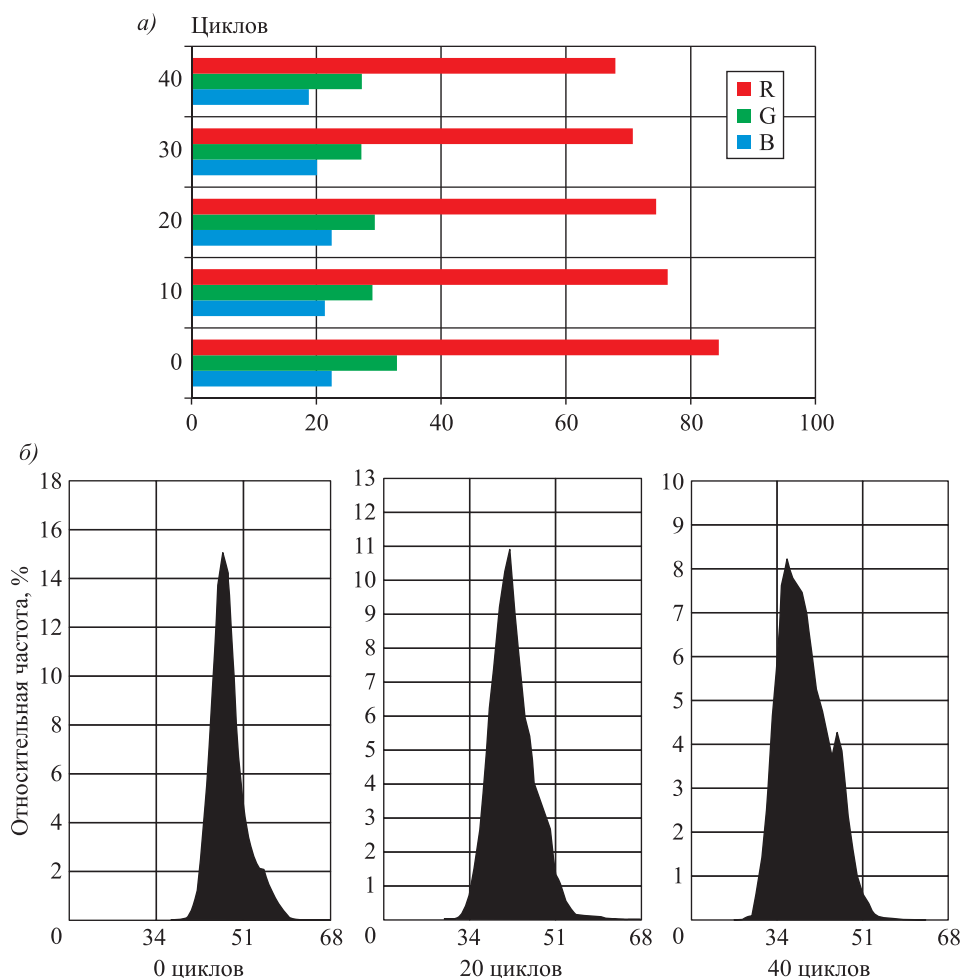


Рис. 2. Изменение кодов RGB (а) и интенсивности яркости (б) полиэфирного композита с пигментом коричневый ж/о (состав 2)

ских факторов<sup>1, 2</sup>. Программой предусмотрен анализ показателей изменения яркости, тоновой контрастности и насыщенности, стандартного отклонения, а также среднего абсолютного отклонения яркости по ширине и высоте образцов, относительного числового коэффициента соответствия испытуемого образца относительно контрольного и площадей треугольников яркости и стандартного отклонения. Для оценки изменения декоративных свойств данного строительного материала в результате влияния агрессивной среды процедура эксперимента состояла в сканировании образца до и после воздействия климатических условий. Область анализа сканированного изображения задавалась в одних и тех же границах, что и для первоначального образца. Сравнивая значения цветовых характеристик можно судить о визуальном и количественном изменении декоративных свойств исследуемых материалов<sup>3</sup> [16, 17].

<sup>3</sup> Программа анализа однородности декоративных свойств строительных материалов и изделий на основе яркостных и геометрических характеристик: программа для ЭВМ / В.Т. Ерофеев, Н.В. Черушова, В.В. Афонин и др. Свидетельство № 2014612723. Зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 23.10.2014.

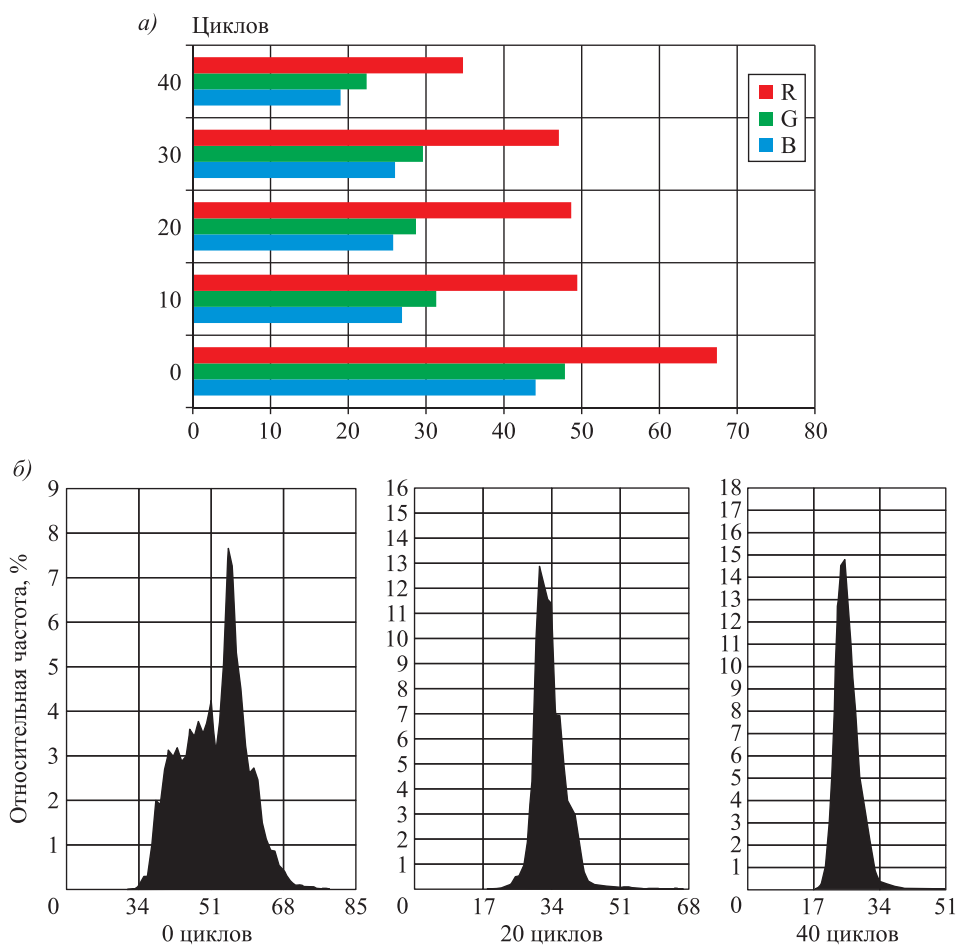


Рис. 3. Изменение кодов RGB (а) и интенсивности яркости (б) полиэфирного композита с пигментом Ferren HM-470 коричневый ж/о (состав 3)

В ходе обработки результатов нами рассматривались средние значения кодов RGB и значение яркости по плоскости отсканированной поверхности образца.

*Экспериментальные результаты и их анализ.* Изменение кодов RGB и диаграммы изменения интенсивности яркости поверхности полиэфирных композитов с рассматриваемыми пигментами в результате воздействия смоделированных климатических факторов приведены на рис. 1–5.

Согласно полученным данным наибольшее изменение цвета полиэфирных композитов с рассматриваемыми пигментами наблюдается у составов 3, 4 и 5, эти изменения достигают в среднем 45–60 % относительно контрольных образцов, неподверженных циклическому воздействию климатическими факторами. Декоративные свойства не сохранились ни у одного из составов. Лучшие показатели изменения декоративных свойств, в среднем 15–20 %, соответствуют составам 1 и 2.

Анализ результатов показал, что у большинства исследуемых композитов (исключение составляет состав 2 с пигментом коричневый ж/о) после воздействия климатических факторов наблюдается уменьшение интервала

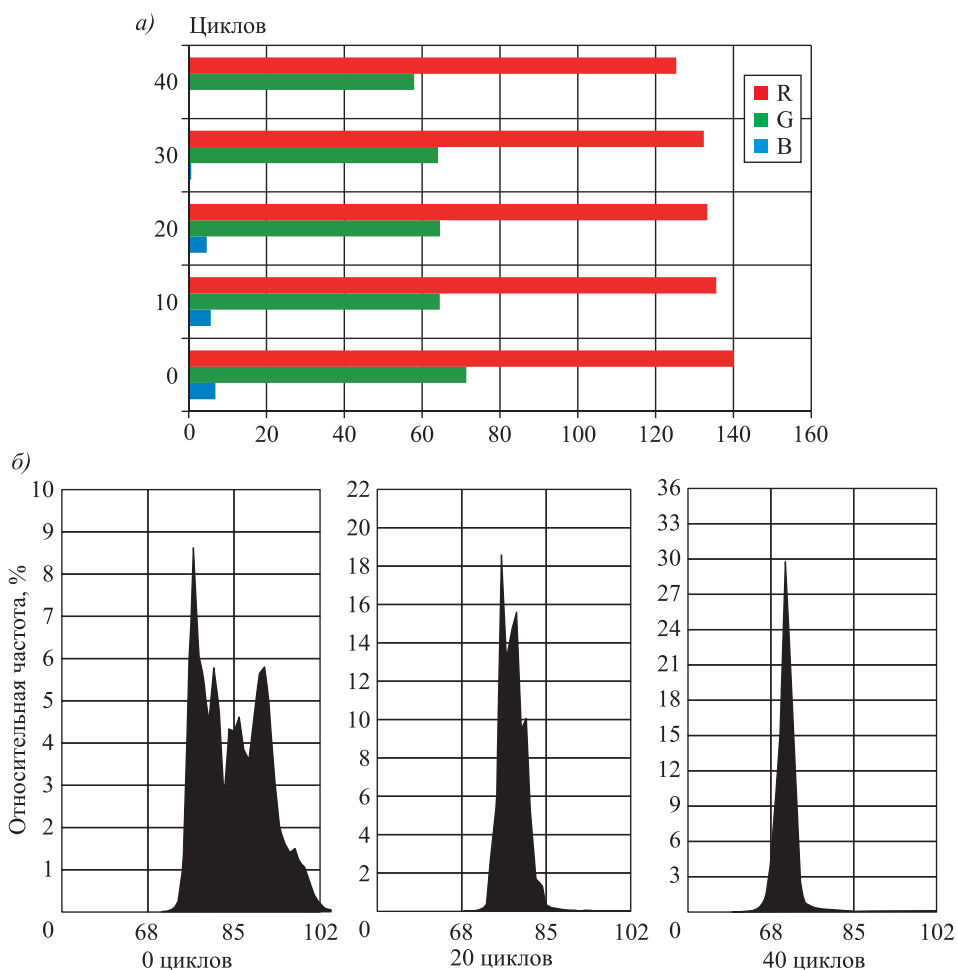


Рис. 4. Изменение кодов RGB (а) и интенсивности яркости (б) полиэфирного композита с пигментом желтый ж/о (состав 4)

разброса значений, составляющих цвета: красного, зеленого, синего. Это свидетельствует о том, что цвет по поверхности образца стал более однородным.

Изменение средних значений кодов RGB поверхности полиэфирных композитов с различными пигментами в результате воздействия климатических факторов, а также характеристика цвета по коду показаны в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают в цифрах изменение среднего значения кода RGB цвета поверхности композитов после 40 циклов, а также описывают реальные характеристики (оттенки) цвета по коду. На основе этих данных можно констатировать тот факт, что цвет поверхности у всех полиэфирных композитов меняет свой оттенок под воздействием агрессивного воздействия климатических факторов, независимо от применяемого пигмента. Отметим, что во всех случаях эти изменения цвета несут плавный характер, т.е. оттенки находятся рядом относительно друг друга в общепринятой цветовой шкале.

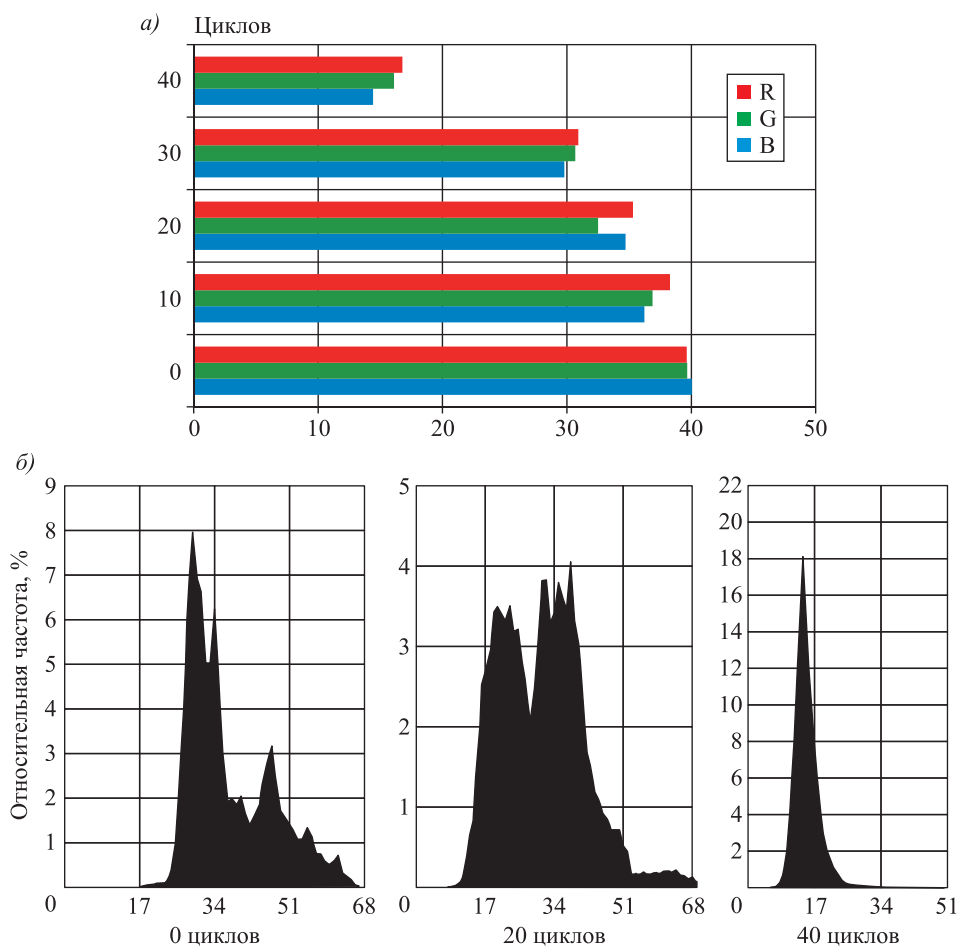


Рис. 5. Изменение кодов RGB (а) и интенсивности яркости (б) полиэфирного композита с пигментом S722 черный ж/о (состав 5)

**Выводы.** 1. Установлено изменение декоративных свойств окрашенных полиэфирных полимеров в результате воздействия климатических факторов.

2. Выявлены зависимости изменения насыщенности яркости поверхности образцов и кодов RGB в результате термоокислительной и фотохимической деструкции в течение 40 циклов через каждые 10 циклов.

3. Установлено, что меньшее изменение цвета произошло у составов 1 и 2 с пигментами красный ж/о и коричневый ж/о соответственно, снижение значений RGB кодов в среднем на 15–20 %. У всех составов полиэфирных композитов заметны изменения насыщенности цвета уже в первые 10 циклов испытания. Постоянная повышенная температура ( $60 \pm 3$  °C) способствует возрастанию скорости окисления полимера, что приводит к весьма заметному изменению окраски полиэфирных композитов, как, например, у составов 3 и 5 с пигментами Ferren HM-470 коричневый ж/о и S722 черный ж/о соответственно.

4. Установленные зависимости изменения кодов RGB для пигментированных полиэфирных композитов дают возможность прогнозирования долговечности защитных покрытий с заданными декоративными свойствами.

Таблица 2. Изменение средних значений кодов RGB поверхности полиэфирных композитов с различными пигментами в результате воздействия климатических факторов

Состав (пигмент)	Длительность выдерживания, цикл	Среднее значение кода RGB поверхности			Характеристика цвета по коду
		R	G	B	
1 (красный ж/о)	0	92,60	29,24	28,11	Темный красный
	20	75,23	22,04	20,01	Бурый
	40	73,85	23,31	24,02	Бурый
2 (коричневый ж/о)	0	84,49	32,93	22,46	Глубокий коричневый
	20	74,45	29,37	22,47	Бурый
	40	67,95	27,30	18,79	Темный желтовато-коричневый
3 (Ferren НМ-470 коричневый ж/о)	0	67,40	47,85	44,08	Шоколадно-коричневый
	20	48,66	28,71	25,78	Темный серо-красно-коричневый
	40	34,74	22,34	19,01	Красновато-черный
4 (желтый ж/о)	0	140,11	71,33	6,91	Насыщенный желто-коричневый
	20	133,28	64,56	4,66	Коричневый
	40	125,31	57,95	0,03	Коричневый
5 (S722 черный ж/о)	0	39,62	39,68	40,05	Черно-серый
	20	35,31	32,51	34,70	Черно-коричневый
	40	16,77	16,11	14,42	Черновато-зеленый

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козоматов В.Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композиционных систем. СПб.: Наука, 2012. 476 с.
2. Гуль В.Е. Структура и прочность полимеров. М.: Химия, 1978. 327 с.
3. Липатов Ю.С. Физико-механические основы наполнения полимеров. М.: Химия, 1991. 260 с.
4. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов: пер. с яп. М.: Мир, 1982. 232 с.
5. Ковачич Л. Склеивание металлов и пластмасс: пер. со словац. М.: Химия, 1985. 240 с.
6. Миненков Б.В., Стасенко О.В. Прочность деталей из пластмасс. М.: Машиностроение, 1977. 262 с.
7. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977. 352 с.
8. Зубов П.И., Киселев М.Р., Сухарева Л.А. Исследование механизма структурообразования наполненных полиэфиров // Коллоид. журн. 1968. Т. 30, № 3. С. 375–378.
9. Наполнители для полимерных композиционных материалов: пер. с англ. / под ред. Г.С. Каца, Д.Б. Милевски. М.: Химия, 1981. 370 с.



10. *Erofeev V.T., Smirnov V.F., Myshkin A.V.* The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, No. 2. P. 022–082.
11. *Startsev V.O., Molokov M.V., Blaznov A.N. et al.* Determination of the heat resistance of polymer construction materials by the dynamic mechanical method // Polymer Science. Series D. 2017. Vol. 10, No. 4. P. 313–317.
12. *Erofeev V., Dergunova A., Piksaikina A. et al.* The effectiveness of materials different with regard to increasing the durability // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 73. P. 04–021.
13. *Erofeev V.* Frame construction composites for buildings and structures in aggressive environments // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. P. 1444–1447.
14. *Smirnov V.F., Semicheva A.S., Erofeev V.T., Morozov E.A.* Bio-preservation of paints // Paints and varnishes and their application. 2003. No. 9. P. 21–26.
15. *Erofeev V.T., Smirnov V.F., Cherushova N.V., Mitina E.A., Smirnova O.N.* The study of bio-resistance of epoxy coatings // Paints and varnishes and their application. 2002. No. 11. P. 30–33.
16. *Ерофеев В.Т., Афонин В.В., Касимкина М.М.* Влияние пластификаторов на изменение цветности ЛКМ под воздействием агрессивных сред // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. № 6. С. 38–41.
17. *Kablov E.N., Erofeev V.T., Rimshin V.I., Zotkina M.M., Dergunova A.V., Moiseev V.V.* Plasticized epoxy composites for manufacturing of composite reinforcement // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1687, No. 1. P. 1–10.

**Зоткина Марина Михайловна**, канд. техн. наук, доц.; E-mail: zotkina.mm@yandex.ru  
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

**Афонин Виктор Васильевич**, канд. техн. наук, доц.; E-mail: vvafonin53@yandex.ru  
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

**Ерофеев Владимир Трофимович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru  
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

**Ваньков Юрий Вадимович**, асп.; E-mail: phenomenv7@gmail.com  
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

**Зоткин Александр Владиславович**, студ.  
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

Получено 24.03.2021

**Zotkina Marina Mihailovna**, PhD, Ass. Professor; E-mail: zotkina.mm@yandex.ru  
National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

**Afonin Victor Vasiljevich**, PhD, Ass. Professor; E-mail: vvafonin53@yandex.ru  
National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

**Erofeev Vladimir Trofimovich**, DSc, Professor; E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru  
National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

**Vanjkov Yuriy Vadimovich**, Post-graduate Student; E-mail: phenomenv7@gmail.com  
National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

**Zotkin Alexandr Vladislavovich**, Student  
National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

## INVESTIGATION OF THE DECORATIVE PROPERTIES OF POLYESTER COMPOSITES SUBJECT TO CYCLICAL EFFECTS OF CLIMATIC FACTORS

The assessment of the color change of polyester composite materials for decorative purposes as a result of the climatic factors cyclical impact has been made. The analysis of the investigated properties was carried out using a software package for assessing changes in the decorative properties of composite materials used under the influence of physical, chemical, biological and climatic factors. Dependences of changes in RGB codes are established and histograms of color saturation of pigmented polyester composites are constructed after exposure to aggressive factors modeled in a climatic chamber. Compositions with the best indicators, resistant to color degradation, operating under the influence of UV radiation, positive temperatures and humidity have been identified.

**Key words:** polyester composites, pigments, climatic tests, decorative properties, RGB code changes, luminance intensity, saturation.

### REFERENCES

1. *Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomatov V.N.* Fizika i sinergetika dispersno-neuporyadochennykh kondensirovannykh kompozitsionnykh sistem [Physics and synergetics of dispersed-disordered condensed composite systems]. Saint Petersburg, 2012. 476 p. (in Russian)
2. *Gul V.E.* Struktura i prochnost' polimerov [Structure and strength of polymers]. Moscow, 1978. 327 p. (in Russian)
3. *Lipatov Yu.S.* Fiziko-mekhanicheskiye osnovy napolneniya polimerov [Physical and mechanical foundations of polymer filling]. Moscow, 1991. 260 p. (in Russian)
4. *Fudzii T., Dzako M.* Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov [Mechanics of the destruction of composite materials]. Moscow, 1982. 232 p. (in Russian)
5. *Kovacic L.* Skleivaniye metallov i plastmass [Bonding of metals and plastics: per. From the Slovenian]. Moscow, 1985. 240 p. (in Russian)
6. *Minenkov B.V., Stasenko O.V.* Prochnost' detaley iz plastmass [Strength of plastic parts]. Moscow, 1977. 262 p. (in Russian)
7. *Zimon A.D.* Adgeziya plenok i pokrytiy [Adhesion of films and coatings]. Moscow, 1977. 352 p. (in Russian)
8. *Zubov P.I., Kiselev M.R., Sukhareva L.A.* Issledovaniye mekhanizma strukturo-obrazovaniya napolnennykh poliefirov [Study of the structure formation mechanism of filled polyesters]. Kolloidnyy zhurnal [Colloid journal]. 1968. Vol. 30, No. 3. Pp. 375–378. (in Russian)
9. Napolniteli dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov [Fillers for polymer composite materials]. Moscow, 1981. 370 p. (in Russian)
10. *Erofeev V.T., Smirnov V.F., Myshkin A.V.* The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, No. 2. Pp. 022–082.
11. *Startsev V.O., Molokov M.V., Blaznov A.N. et al.* Determination of the heat resistance of polymer construction materials by the dynamic mechanical method. Polymer Science. Series D. 2017. Vol. 10, No. 4. Pp. 313–317.
12. *Erofeev V., Dergunova A., Piksaikina A. et al.* The effectiveness of materials different with regard to increasing the durability. MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 73. Pp. 04–021.

13. *Erofeev V.* Frame construction composites for buildings and structures in aggressive environments. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. Pp. 1444–1447.
  14. *Smirnov V.F., Semicheva A.S., Erofeev V.T., Morozov E.A.* Bio-preservation of paints. *Paints and varnishes and their application*. 2003. Vol. 9. Pp. 21–26.
  15. *Erofeev V.T., Smirnov V.F., Cherushova N.V., Mitina E.A., Smirnova O.N.* The study of bio-resistance of epoxy coatings. *Paints and varnishes and their application*. 2002. No. 11. Pp. 30–33.
  16. *Erofeev V.T., Aфонin V.V., Kasimkina M.M.* Vliyanie plastifikatorov na izmenenie tsvetnosti LKM pod vozdeystviyem agressivnykh sred [The influence of plasticizers on changing the chromaticity of LCM under the influence of aggressive media]. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye* [Paint materials and their use]. 2011. No. 6. Pp. 38–41. (in Russian)
  17. *Kablov E.N., Erofeev V.T., Rimshin V.I., Zotkina M.M., Dergunova A.V., Moiseev V.V.* Plasticized epoxy composites for manufacturing of composite reinforcement. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1687, No. 1. Pp. 1–10.
-