



УДК 691.342

В. В. АФОНИН¹, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник; **Н. В. ЧЕРУШОВА²**, канд. техн. наук, доц. кафедры «Основы архитектуры и художественных коммуникаций»; **Салман Давуд Салман АЛЬ ДУЛАЙМИ³**, д-р техн. наук, директор инженерного отдела Дирекции строительства и проектов; **М. М. ЗОТКИНА⁴**, канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов и технологий; **И. В. СЕРГЕЕВА²**, канд. техн. наук, доц. кафедры «Основы архитектуры и художественных коммуникаций»; **А. Г. СОКОЛОВА²**, канд. техн. наук, доц. кафедры строительного материаловедения; **А. В. БУРЫКИНА⁵**, аспирант кафедры строительного производства, ассистент кафедры архитектуры; **К. А. ЧЕРУШОВ¹**, инженер; **А. А. МАРТЫНОВ⁴**, аспирант кафедры строительных материалов и технологий; **Н. А. ПОЛЕЖАЕВ⁴**, аспирант кафедры строительных материалов и технологий

ОЦЕНКА ДЕКОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

¹ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук».

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

Тел.: (8342) 29-06-02, (929) 671-17-73; эл. почта: vvafonin53@yandex.ru, cherushova@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тел.: (929) 671-17-73, (937) 511-35-75; эл. почта: cherushova@yandex.ru, ira.erofeeva.90@mail.ru

³Министерство высшего образования и научных исследований Республики Ирак.

Ирак, Багдад, ул. Русафа, д. 52.

Тел.: (964) 841-49-61; эл. почта: salmoon-1985@mail.ru

⁴ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Тел.: (927) 182-90-24, (987) 697-67-17, (937) 519-93-60; эл. почта: zotkina.mm@yandex.ru, am-kor@bk.ru, am-kor@bk.ru

⁵ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Тел.: (904) 598-26-42; эл. почта: anastas.tim.99@mail.ru

Ключевые слова: долговечность, декоративные покрытия, цифровая обработка, компьютерные технологии, RGB-анализ, эпоксидные материалы, иризация, агрессивная среда.



Показано, что повышение долговечности и надежности строительных изделий, конструкций и сооружений является одной из ключевых задач современного материаловедения, что требует применения долговечных защитных покрытий и разработки эффективных методов оценки свойств последних. В качестве покрытий по железобетонным конструкциям используются полимерные материалы на основе эпоксидных и других связующих. Покрытия декоративного назначения, эксплуатируемые в зданиях с агрессивными средами, часто подвержены деградации. Помимо оценки прочности и других функциональных характеристик материалов значительное внимание уделяется сохранению декоративных свойств защитных покрытий. Статья посвящена актуальной проблеме – разработке метода оценки долговечности строительных изделий по показателям изменения декоративных свойств, с помощью компьютерных технологий. Цель работы состояла в разработке методики установления изменения цвета полимерных покрытий под воздействием воды с температурой 80 °С, ускоряющей процессы деструкции. В качестве материалов для исследований рассматривались лакокрасочные материалы на основе эпоксидного связующего и кобальтового пигмента и покрытий с эффектом иризации. Последние материалы дают оптический эффект радужной окраски какой-либо поверхности, возникающий под действием интерференции световых волн. Разработанная методика исследований включает 2 этапа – сканирование исследуемых образцов с получением растровых изображений и цифровую обработку изображений. В работе анализ цветности окраски образцов осуществлялся по гистограмме яркости пикселей изображения образцов. Данные показатели приводятся до воздействия среды и после. Установлено, что воздействие агрессивной среды привело к изменению цветовых свойств в коде RGB – красного, зеленого и синего. Предлагаемая методика позволяет принимать решение о целесообразности применения того или иного декоративного ЛКМ и защитного цветового покрытия, находящегося под воздействием агрессивных факторов, дает возможность производить количественную оценку изменения цветовых свойств материала, подверженного, например, агрессивным факторам биологической природы.

Введение

Увеличение долговечности строительных материалов и конструкций является одной из ключевых задач современного материаловедения. Существует множество факторов, которые влияют на уровень эксплуатационных показателей различных строительных изделий [1, 2]. Коррозия и разрушения возникают в результате длительного воздействия влаги, химических и биологических агрессивных сред, статических и динамических нагрузок [3]. Климатические факторы, такие как температура, влажность, солнечная радиация, так же напрямую влияют на долговечность различных материалов [4–7]. Помимо объективных причин старения строительных материалов и конструкций существуют и непредвиденные факторы [8–10]: отсутствие планового технического обслуживания, игнорирование мелких дефектов, несвоевременные ремонтные работы; ошибки при проведении строительно-монтажных работ и проектировании, в результате которых не учтена специфика района строительства; использование некачественных материалов и сырья, несоответствие технологии производства материалов и конструкций заявленным требованиям и нормативной документации; экологические факторы, связанные с наличием агрессивных веществ и биологическая коррозия.

В этой связи крайне важное значение приобретают способы повышения долговечности строительных материалов и изделий из них. И если на стадии



производства строительно-монтажных работ существует возможность исправить ошибки и увеличить качество и долговечность материалов, например за счет введения различных добавок в композит, армирования, замены составляющих композита, из которого изготавливаются строительные конструкции [11–16], то на стадии эксплуатации существует крайне ограниченное количество способов защиты от деградации и повышения долговечности готовых строительных материалов и изделий.

Различают первичную и вторичную защиту строительных материалов и конструкций от коррозии [17]. Стойкость железобетонных конструкций методом первичной защиты повышается с помощью тщательного выбора компонентов бетонных смесей, оптимизации их количественного содержания и посредством введения модифицирующих добавок. Среди вторичных основополагающим является метод применения защитных покрытий, применяемых для предотвращения коррозии и других разрушительных процессов [18–22]. В практике противокоррозионных работ используются различные лакокрасочные материалы (ЛКМ), такие как лаки, эмали, мастики, а также полимерные и бетонные растворы, модифицированные полимерами [23–26], которые должны удовлетворять множеству требований, включая непроницаемость для жидкостей, трещиностойкость и химическую стойкость в условиях воздействия агрессивных сред [27–31]. Однако, помимо функциональных характеристик, значительное внимание следует уделять декоративным свойствам как модифицирующих композитов, так и отделочных материалов. Сохранение привлекательного внешнего вида, устойчивость к выцветанию и изменение цветового оттенка являются важными аспектами, которые необходимо учитывать при выборе и оценке лакокрасочных материалов и модифицирующих покрытий.

На сегодняшний день используются следующие способы определения и описания цвета лакокрасочных материалов (ЛКМ): визуальное определение (органолептический метод), сравнение с контрольным образцом (эталоном), количественное измерение на специальных приборах и числовое выражение [32–34]. Цвет материалов может быть выражен с помощью различных математических моделей. В основе известных способов измерения цвета лежит теория Гельмгольца о трехцветных цветовых ощущениях, по которой любой цвет рассматривается как совокупность трех линейно независимых цветов, т. е. таких, что ни один из них не может быть получен смешением других. В качестве таких цветов рассматриваются красный, зеленый и синий (голубой), которые в выбранной системе измерения берутся в соответствующих пропорциях.

В качестве стандартной колориметрической системы принята система координат, в которой основными цветами служат три реально не воспроизводимых цвета, выбранных так, чтобы реальные цвета находились внутри цветового треугольника. Координаты получают расчетным путем, используя данные замеров, проведенных с помощью спектрофотометров или колориметров [35]. Более совершенным является спектрофотометрический способ для измерения цвета, который в отличие от колориметрического, устанавливающего количество первичных цветов и смешиваемых для получения измеряемого цвета, определяет спектральные коэффициенты отражения пигментов [36].

Однако литературные данные показывают, что цветовые характеристики покрытия – доминирующая длина волны, чистота и яркость – не всегда дают правильное представление о его цветовом тоне, насыщенности (чистоте цвета) и

светлоте лакокрасочных материалов [37]. Если расположить образцы в ряд по возрастанию длин волн, то оказывается, что они не воспроизводят равномерный ряд цветов покрытий, получаемых в результате визуального осмотра. Например, лакокрасочные покрытия желтого и защитного цветов отличаются по чистоте цвета, но характеризуются одинаковой доминирующей длиной волны, или другой случай, когда покрытия визуально не отличаются по цвету, но имеют различные координаты цвета и, следовательно, разную доминирующую длину волны.

Наряду с ЛКМ интерес для исследования представляют декоративные бетоны с эффектом иризации. Под эффектом иризации принято считать спектральное внутреннее свечение, вызванное интерференцией и разложением света на границах вrostков, тончайших пленок, трещин и зон с различными оптическими свойствами, присущее таким полудрагоценным минералам и горным породам, как: опал, тигровый глаз и, главным образом, лабрадорит [38].

Спектральное внутреннее свечение лабрадоритов возникает за счет «сегрегации точечных несовершенств на дислокациях», образованных за счет тонкой волокнистости, образующей со спайностью (001) угол около $60-65^\circ$, и четырех систем игольчато-пластинчатых образований размером до $0,7 \times 0,045$ мм (рис. 1) [39].

Непосредственно лабрадорит наряду с другими изверженными горными породами (крупнозернистый гранит, сиенит, габбро) составляет группу долговечных пород (200 лет бездефектной эксплуатации) и применяется в качестве наружной облицовки и внутренних отделочных работах [40]. В частности, им оформлена входная группа станции метро Площадь Революции, г. Москва.

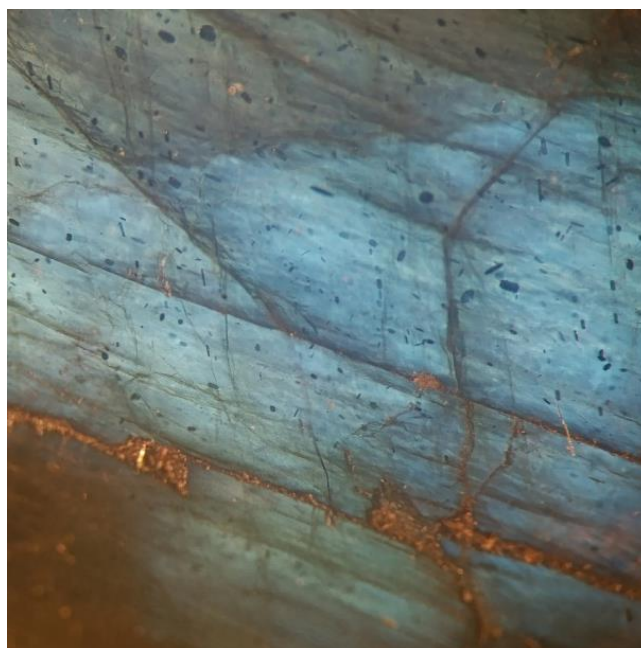


Рис. 1. Микрофотография текстуры лабрадорита

Материалы с эффектом иризации могут быть получены искусственным путем. Искусственные каменные материалы (ИКМ) с эффектом лабрадоризации, то есть иризации, могут быть применены при оформлении мест общего

пользования элитных жилищных комплексов, знаковых спортивных объектов, а также объектов транспортной инфраструктуры (рис. 2).

В качестве защитно-декоративного покрытия могут использоваться изделия с содержанием синтетического латекса, неионогенного поверхностноактивного вещества, антисептика, наполнителя, пигмента, силиката щелочного металла и воды [41]. Несмотря на достаточную прочность искусственного композита под воздействием внешней агрессивной среды он может менять декоративные и прочностные характеристики, что негативно сказывается на долговечности.

Таким образом, учитывая многообразие цветовой гаммы современных защитных покрытий, а также длительность и часто недостаточную точность проведения натурных исследований, возникает необходимость разработки методики решения задачи по оценке декоративных (цветовых) свойств покрытий, позволяющей быстро и качественно моделировать изменение цвета декоративных материалов различного состава и назначения с последующим определением изменения данных свойств под воздействием химико-биологических и других эксплуатационных факторов.



Рис. 2. Искусственный каменный материал с эффектом иризации

Перспективными являются методы оценки цветности с помощью компьютерных технологий [42].

Цель исследований

Цель работы состояла в апробации методики оценки изменения цветности декоративных материалов с помощью компьютерных технологий.

Задачи исследований:

1. Разработать методику проведения исследований изменения цветности с помощью компьютерных технологий и описать ее основные этапы.
2. Обосновать выбор метода анализа цветовой окраски образцов материалов в сравнении с известными.
3. Рассмотреть пример использования предлагаемой методики для оценки изменения цвета лакокрасочного материала и интенсивности интерференции материала с эффектом иризации, подверженного воздействию агрессивной среды.
4. Привести основные преимущества методики оценки цветности с помощью компьютерных технологий.

Материалы и методы

В качестве материалов для исследований использованы лакокрасочные материалы на основе эпоксидного связующего и кобальтового пигмента, а также искусственные каменные материалы (ИКМ) с эффектом иризации.

Ниже представляется методика оценки изменения декоративных свойств ЛКМ и ИКМ под воздействием эксплуатационных факторов, основанная на применении современных компьютерных технологий [43, 44]. По предлагаемой методике решение подобных задач осуществляется в два этапа. На первом этапе методом прямого сканирования (например, с помощью сканера *HP Scan Jet 5p*) производится сканирование исследуемых образцов с получением растровых изображений и сохранение их в графических форматах *jpeg (jpg)* или *tiff (tif)*. На втором этапе осуществляется цифровая обработка отсканированного изображения с помощью разработанной программы в среде *MATLAB* версии 6 и выше и пакета прикладных программ *Image Processing Toolbox*. Анализ цветовой окраски образца может осуществляться: по гистограмме яркостей пикселей изображения образца; по трем цветовым составляющим каждого пиксела в коде *RGB* (*Red* – красный, *Green* – зеленый, *Blue* – синий); по средним значениям цветовых составляющих массива пикселей данного образца; по среднеквадратическим отклонениям цветовых составляющих массива пикселей (по ширине и длине образца); визуальному восприятию образца.

Для отображения цвета изображения обычно бывает достаточно палитры с 256 цветами. Такая палитра цветов была заложена в программу анализа цветовых свойств лакокрасочных покрытий. С помощью разработанной программы производится как численный анализ изображения, так и его визуальное восприятие.

Анализ результатов исследований

Ниже рассмотрен пример использования предлагаемой методики для оценки изменения цветовых свойств ЛКП под воздействием горячей воды с температурой 80 °С. На рис. 3 приводятся гистограммы яркостей пикселей изображения сравниваемых образцов, на рис. 4–5 показаны составляющие цветов каждого пиксела образцов, в табл. 1 даны числовые характеристики образцов.

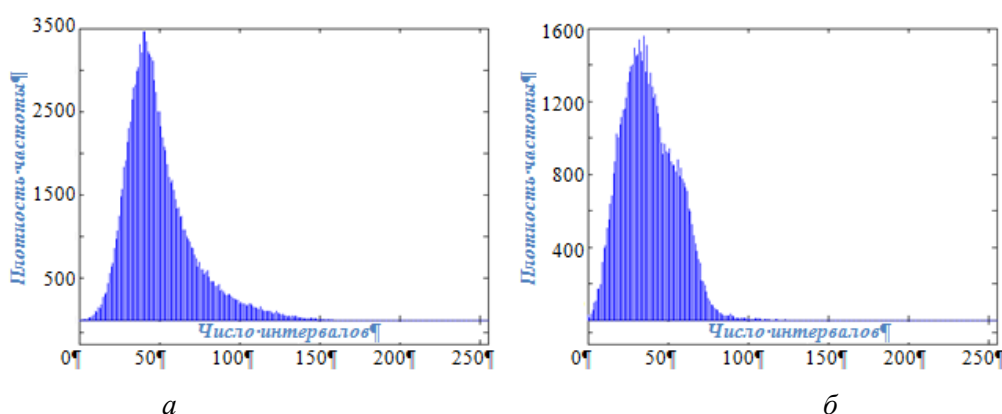


Рис. 3. Гистограмма яркостей пикселей образца с кобальтовым пигментом:
а – до воздействия среды, б – после воздействия среды

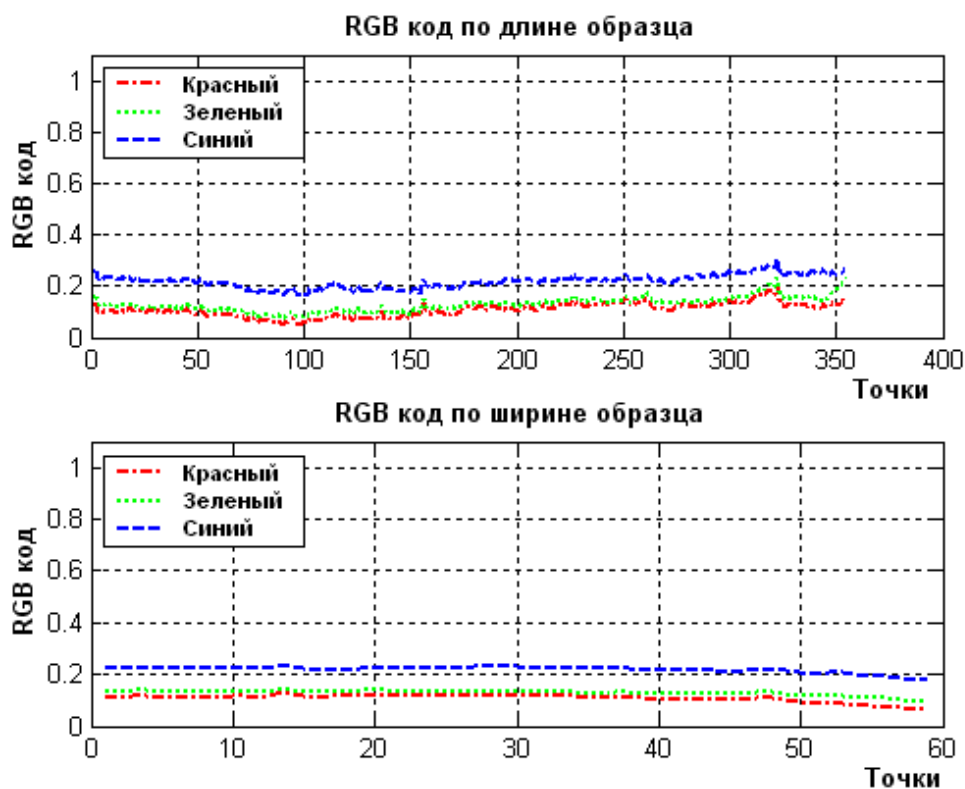


Рис. 4. Характеристики контрольного образца с кобальтовым пигментом

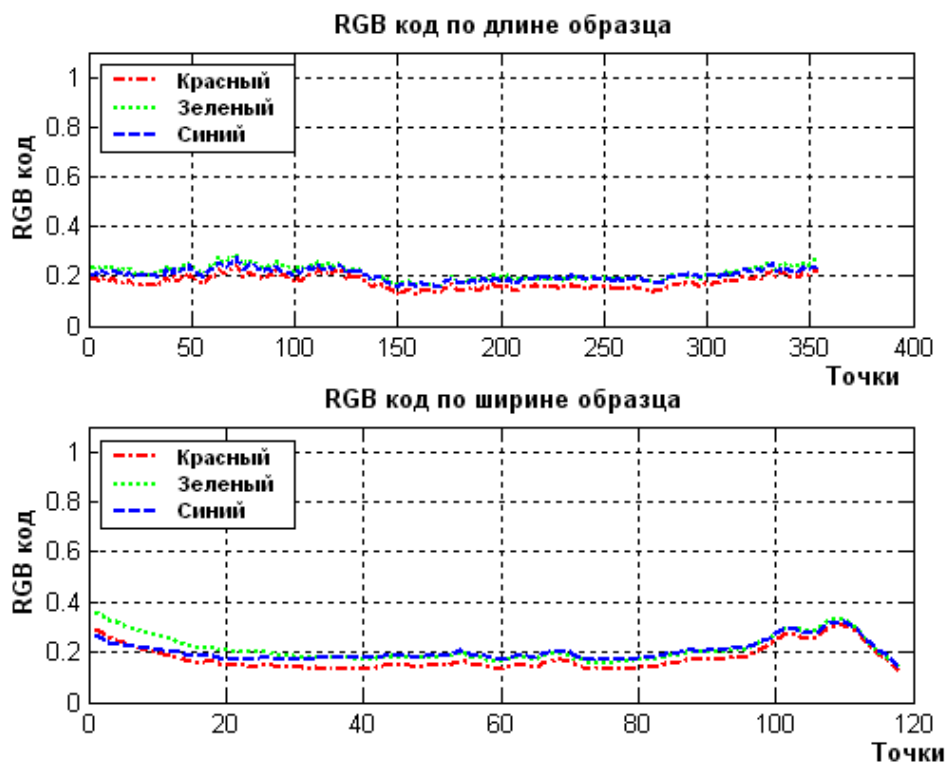


Рис. 5. Характеристики образца с кобальтовым пигментом после воздействия агрессивной среды



Таблица 1

Изменение цветовых тонов спектра образцов, содержащих кобальтовый пигмент

		Среднее образца	Среднее квадратическое отклонение образца по длине	Среднее квадратическое отклонение образца по ширине
Красный цвет	Контрольный	0,1073	0,0266	0,0143
	После воздействия среды	0,1754	0,0259	0,0478
Зелёный цвет	Контрольный	0,1287	0,0273	0,0107
	После воздействия среды	0,2132	0,0287	0,0514
Синий цвет	Контрольный	0,2179	0,0255	0,0122
	После воздействия среды	0,2043	0,0232	0,0389

Из приведенных рис. 1–3 и табл. 1 следует, что воздействие агрессивной среды на рассмотренные образцы приводит к изменению цветовых свойств как всех пикселей (точек образца), так и их средних числовых характеристик. Очевидно также, что отсутствие визуальных изменений цветовой окраски образца может быть восполнено введенными в рассмотрение числовыми характеристиками для оценки изменения цвета образца после воздействия на него агрессивной среды. Подобное заключение авторы делают после проведения традиционных испытаний и компьютерного анализа образцов с различными цветовыми пигментами.

Выводы и заключения

1. Повышение долговечности композиционных строительных материалов является одной из важнейших задач.
2. Показано, что существует ограниченное количество способов контроля и модификаций лакокрасочных строительных материалов и покрытий для увеличения долговечности различных строительных материалов, изделий и конструкций.
3. В работе предлагается оценку степени деструкции цвета защитных покрытий производить с помощью современных компьютерных технологий.
4. Решение задачи осуществляется в два этапа: сканирование исследуемых образцов; цифровая обработка отсканированного изображения.
5. Реализован пример использования применяемой методики для оценки изменения цветовых свойств лакокрасочного покрытия под воздействием горячей воды с температурой 80 °С.
6. Разработанный метод оценки долговечности покрытий по декоративным свойствам может быть эффективно использован при обследовании зданий и специальных инженерных сооружений.
7. На примере гистограммы яркости пикселей образца с кобальтовым пигментом синего цвета может быть оценена интерференционная картина светового луча определенного спектра.



8. Разработанная программа и методика для оценки долговечности, рассмотренная на примере лакокрасочных материалов эпоксидного полимера, может быть использована для искусственных каменных материалов с эффектом иризации.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке по теме «Установление физико-механическими, химико-биологическими, оптимизационными, сетевыми и цифровыми методами оценки долговечности полимерных композиционных материалов образцов, прошедших длительные испытания в климатической зоне морского побережья».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Study of the Behavior of Cement Composites in the Conditions of Cyclic Exposure Positive and Negative Temperatures / I. V. Erofeeva, V. V. Afonin, D. V. Emelyanov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 972, № 1. – Art. 012052.
2. Decision-making on quality composition materials exposed to temperature differences / V. V. Afonin, I. V. Erofeeva, V. I. Kondrashchenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 708, № 1. – Art. 012077.
3. Hadigheh, S. A. 3D acid diffusion model for FRP-strengthened reinforced concrete structures: long-term durability prediction / S. A. Hadigheh, F. Ke, S. Kashi // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 261. – Art. 120548.
4. Erofeev, V. T. The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate / V. T. Erofeev, V. F. Smirnov, A. V. Myshkin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698. – P. 1–6.
5. Erofeev, V. T. The study of polyester-acrylate composite's stability in the humid maritime operating conditions / V. T. Erofeev, V. F. Smirnov, A. V. Myshkin // Materials Today: Proceedings. – 2019. – Vol. 19. – P. 2255–2257.
6. Elchishcheva, T. The influence of salts' presence in the materials on their moisture and thermal conductivity / T. Elchishcheva, V. Erofeev // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 1011. – P. 179–187.
7. Assessment of effective patching material for concrete bridge deck – a review / N. Su, L. Lou, A. Amirkhanian [et al.] // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 293. – Art. 123520. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.123520.
8. Ерофеев, В. Т. Повышение долговечности и экологичности зданий и сооружений в текстильной промышленности за счет использования материалов, модифицированных микробиологическими добавками / В. Т. Ерофеев, Салман Давуд Аль Дулайми, А. В. Дергунова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 3 (393). – С. 141–146.
9. Rodin, A. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock / A. Rodin, A. Ermakov, I. Erofeeva, V. Erofeev // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 9. – Art. 3268.
10. Disinfection and sterilization of air and internal surfaces of industrial premises / D. A. Svetlov, A. S. Boriskin, A. V. Dergunova [et al.] // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 189. – P. 38–43.
11. Bahmani, H. Fiber type and curing environment effects on the mechanical performance of UHPFRC containing zeolite / H. Bahmani, D. Mostofinejad, S. A. Dadvar // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. – 2022. – Vol. 46. – P. 4151–4167.
12. Estimation of flexures of the reinforced concrete elements according to the National



Ukrainian & European standards / V. Babych, V. Dovbenko, L. Kuzmych, T. Dovbenko // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 116. – Art. 02005.

13. Job, S. Recycling composites commercially / S. Job // Reinforced Plastics. – 2014. – Vol. 58, № 5. – P. 32–38.

14. Feng, Y. Meta concrete: exploring novel functionality of concrete using nanotechnology / Y. Feng, Y. Su, N. Lu, S. Shah // Engineered Science. – 2020. – DOI 10.30919/es8d816.

15. Tran, N. P. The role of organic polymer modifiers in cementitious systems towards durable and resilient infrastructures: a systematic review / N. P. Tran, T. N. Nguyen, T. D. Ngo // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 360. – Art. 129562. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.129562.

16. Effect of polymers on behavior of ultra-high-strength concrete / O. A. Mayhoub, A. A. Abadel, Y. R. Alharbi [et al.] // Polymers. – 2022. – Vol. 14, № 13. – DOI 10.3390/POLYM14132585.

17. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н. И. Карпенко, С. Н. Карпенко, В. Н. Ярмаковский, В. Т. Ерофеев // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 93–102.

18. Strength properties of chemically modified solid woods / P. Yasniy, S. Homon, V. Iasnii [et al.] // Procedia Structural Integrity. – 2022. – Vol. 36. – P. 211–216.

19. Cement concrete and concrete–polymer composites: two merging worlds: a report from 11th ICPC Congress in Berlin, 2004 / D. van Gemert, L. Czarnecki, M. Maultzsch [et al.] // Cement and Concrete Composites. – 2005. – Vol. 27. – P. 926–933. – DOI 10.1016/j.cemconcomp.2005.05.004.

20. Sustainable fiber-reinforced composites: a review / S. Maiti, M. R. Islam, M. A. Uddin [et al.] // Advanced Sustainable Systems. – 2022. – Vol. 6. – Art. 2200258. – DOI 10.1002/ADSU.202200258.

21. Polymer-modified cement mortars: their enhanced properties, applications, prospects, and challenges / X. Zhang, M. Du, H. Fang [et al.] // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 299. – Art. 124290. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.124290.

22. Improvement in durability and mechanical performance of concrete exposed to aggressive environments by using polymer / M. Idrees, A. Akbar, F. Saeed [et al.] // Materials. – 2022. – Vol. 15. – DOI 10.3390/MA15113751.

23. Epoxy composites modified with coal tar / V. T. Erofeev, A. D. Bogatov, I. E. Kondakova [et al.] // Nanotechnologies in Construction. – 2024. – № 16 (6). – P. 533–548.

24. Photo-reactive acrylic-alkyd composition with biocide additive for wood protection coating development / V. Il'ina, V. Strokova, V. Erofeev, I. Stepina // Architecture and Engineering Journal. – 2024. – Vol. 9, № 3. – P. 53–62.

25. Strength and durability of concrete with superabsorbent polymer admixture / K. Sharafutdinov, K. Saraikina, G. Kashevarova [et al.] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2023. – Vol. 19, № 2. – P. 120–135.

26. Rodin, A. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock / A. Rodin, A. Ermakov, I. Erofeeva, V. Erofeev // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 9. – Art. 3268.

27. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts / L. N. Shafigullin, A. A. Bobrishev, V. T. Erofeev [et al.] // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43758–43762.

28. Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions / V. Erofeev, A. Rodin, N. Rodina [et al.] // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 165. – P. 1448–1454.

29. Determination of the heat resistance of polymer construction materials by the dynamic mechanical method / V. O. Startsev, M. V. Molokov, A. N. Blaznov [et al.] // Polymer Science – Series D. – 2017. – Vol. 10, № 4. – P. 313–317.



30. Calculation of reinforced concrete shell of positive Gaussian curvature, given different resistance of concrete and cracking / L. N. Shafigullin, A. A. Treschev, V. G. Telichko, V. T. Erofeev // *Astra Salvensis*. – 2017. – P. 77–91.
31. Destruction of powder-activated concrete with fixation of destruction by a laser interferometer / V. I. Travush, N. I. Karpenko, V. T. Erofeev [et al.] // *Magazine of Civil Engineering*. – 2020. – Vol. 95, № 3. – P. 42–48.
32. Revealing the Biostability of Cement Composites by the Method of Mathematical Statistics / E. Abramova, T. Elchishcheva, D. Svetlov [et al.] // *AIP Conference Proceedings*. – 2023. – Vol. 2612. – Art. 040003.
33. Balatkhanova, E. Regression assessment of the model based on the experimental planning matrix in composite materials' analysis problems / E. Balatkhanova, I. Erofeeva, V. Afonin // *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 281. – Art. 03015.
34. Study of the Behavior of Cement Composites in the Conditions of Cyclic Exposure Positive and Negative Temperatures / I. V. Erofeeva, V. V. Afonin, D. V. Emelyanov [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 972, № 1. – Art. 012052.
35. Корякина, М. И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Корякина. – Москва : Химия, 1989. – 206 с. – ISBN 5-7245-0251-8.
36. Assessment of coatings for protection of cement paste against microbial induced deterioration through image analysis / L. Kong, J. Fang, X. Zhou [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 191. – P. 342–353.
37. Decision-making on quality composition materials exposed to temperature differences / V. V. Afonin, I. V. Erofeeva, V. I. Kondrashchenko [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 708, № 1. – Art. 012077.
38. Куликов, Б. Ф. Словарь камней-самоцветов / Б. Ф. Куликов, В. В. Буканов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Недра, Ленингр. отд-ние, 1988. – 167, [1] с. – ISBN 5-247-00076-5.
39. Новые данные о минералах : сборник статей / АН СССР, Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана. – Москва : Наука, 1986. – Вып. 33. – 167 с. : ил., карт.
40. Природный камень и керамика в архитектуре : учебно-методическое пособие / А. Г. Ташкинов ; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет транспорта. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 116 с.
41. Стенечкина, К. С. Применение декоративных бетонов для отделки зданий и сооружений / К. С. Стенечкина // *Инженерный вестник Дона*. – 2023. – № 3. – С. 418–428.
42. Computer Vision for Color Detection / T. J. Deborah, K. Gitika, C. Aarti, B. B. Shalini // *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*. – 2021. – Vol. 9, № 3. – P. 54–58.
43. Biostability of Plastering Systems in Buildings and Structures / T. Elchishcheva, V. Afonin, I. Erofeeva [et al.] // *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 150. – P. 379–390.
44. Светлов, Д. А. Новое поколение биостойких композиционных материалов на основе гуанидиновых соединений с механизмом действия на наноразмерном уровне / Д. А. Светлов, И. В. Ерофеева, А. В. Долганов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2020. – Т. 387, № 3. – С. 44–51.



AFONIN Viktor Vasilevich¹, candidate of technical sciences, senior researcher;
CHERSHOVA Natalya Vladimirovna², candidate of technical sciences, associate professor of the chair of fundamentals of architecture and art communications;
AL-DULAIMI Salman Dawood Salman³, doctor of technical sciences, head of the engineering department of construction and projects directorate; **ZOTKINA Marina Mikhaylovna⁴**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building materials and technologies; **SERGEEVA Irina Vladimirovna²**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of fundamentals of architecture and art communications; **SOKOLOVA Alla Germanovna¹**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building materials science; **BURYKINA Anastasiya Viktorovna⁵**, postgraduate student of the chair of construction production, assistant of the chair of architecture; **CHERUSHOV Kirill Andreevich¹**, engineer; **MARTYNOV Andrey Aleksandrovich⁴**, postgraduate student of the chair of building materials and technologies; **POLEZHAEV Nikolay Anatolevich⁴**, postgraduate student of the chair of building materials and technologies

EVALUATION OF DECORATIVE PROPERTIES OF COATINGS USED TO ENHANCE DURABILITY OF CONSTRUCTION PRODUCTS

¹Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: (8342) 29-06-02, (929) 671-17-73; e-mail: vvafonin53@yandex.ru, cherushova@yandex.ru

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).

26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.

Tel.: (929) 671-17-73, (937) 511-35-75; e-mail: cherushova@yandex.ru, ira.erofeeva.90@mail.ru

³Ministerium of Higher Education and Scientific Research of the Republic of Iraq.

52, Rusafa St., Baghdad, Iraq.

Tel.: (964) 841-49-61; e-mail: salmoon-1985@mail.ru

⁴National Research Ogarev Mordovia State University.

68, Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Republic of Mordovia, Russia.

Tel.: (927) 182-90-24, (987) 697-67-17, (937) 519-93-60; e-mail: zotkina.mm@yandex.ru, am-kor@bk.ru, am-kor@bk.ru

⁵Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (VLSU).

87, Gorky St., Vladimir, 600000, Russia.

Tel.: (904) 598-26-42; e-mail: anastas.tim.99@mail.ru

Keywords: durability, decorative coatings, digital processing, computer technology, RGB analysis, epoxy materials, iridescence, aggressive environment.



Increasing the durability and reliability of building products, structures, and facilities is one of the key tasks of modern materials science, which requires the use of durable protective coatings and the development of effective methods for assessing their properties. Polymer materials based on epoxy and other binders are used as coatings on reinforced concrete structures. Decorative coatings exposed to aggressive environments are often susceptible to degradation. In addition to assessing the strength and other functional characteristics of materials, significant attention is paid to preserving the decorative properties of protective coatings. The article is devoted to a pressing issue: the development of a method for assessing the durability of construction products by indicators of changes in decorative properties, using computer technologies. The purpose of the work was to develop a technique for establishing the color change of polymer coatings under the influence of water with a temperature of 80 °C, accelerating the processes of destruction. The materials investigated included paint materials based on an epoxy binder and cobalt pigment and coatings with an iridescent effect were considered. These materials produce an iridescent optical effect on surfaces, resulting from light wave interference. The developed research methodology includes two stages: scanning the samples to obtain raster images and digital image processing. In this study, the color properties of the samples were analyzed using a histogram of the brightness of the pixels in the images. The analysis was conducted before and after exposure to the aggressive environment. It was found that the exposure to the aggressive environment caused changes in the color properties of the RGB code, which represents red, green, and blue. The proposed method allows for the decision-making on the feasibility of using a particular decorative paint and protective color coating that is exposed to aggressive factors, and provides an opportunity to quantify the changes in the color properties of a material subjected to various aggressive agents, such as those of biological origin.

REFERENCES

1. Erofeeva I. V., Afonin V. V., Emelyanov D. V. [et al.]. Study of the Behavior of Cement Composites in the Conditions of Cyclic Exposure Positive and Negative Temperatures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, Vol. 972, № 1, Art. 012052.
2. Afonin V. V., Erofeeva I. V., Kondrashchenko V. I. [et al.]. Decision-making on quality composition materials exposed to temperature differences. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, Vol. 708, № 1, Art. 012077.
3. Hadigheh S. A., Ke F., Kashi S. 3D acid diffusion model for FRP-strengthened reinforced concrete structures: long-term durability prediction. Construction and Building Materials. 2020, Vol. 261, Art. 120548.
4. 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, P. 1–6.
5. Erofeev V. T., Smirnov V. F., Myshkin A. V. The study of polyester-acrylate composite's stability in the humid maritime operating conditions. Materials Today: Proceedings. 2019, Vol. 19, P. 2255–2257.
6. Elchishcheva T., Erofeev V. The influence of salts' presence in the materials on their moisture and thermal conductivity. Materials Science Forum. 2020, Vol. 1011, P. 179–187.
7. Su N., Lou L., Amirkhanian A. [et al.]. Assessment of effective patching material for concrete bridge deck – a review. Construction and Building Materials. 2021, Vol. 293, Art. 123520. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.123520.
8. Erofeev V. T., Salman Davud Al Dulaimi, Dergunova A. V. Povyshenie dolgovechnosti i ekologichnosti zdaniy i sooruzheniy v tekstilnoy promyshlennosti za schet ispolzovaniya materialov, modifitsirovannykh mikrobiologicheskimi dobavkami [Improving the durability and environmental friendliness of buildings and structures in the textile industry



through the use of materials modified with microbiological additives]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti* [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology]. 2021, № 3 (393), P. 141–146.

9. Rodin A., Ermakov A., Erofeeva I., Erofeev V. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock. *Materials*. 2022, Vol. 15, No. 9, Art. 3268.

10. Svetlov D. A., Boriskin A. S., Dergunova A. V. [et al.]. Disinfection and sterilization of air and internal surfaces of industrial premises. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022, Vol. 189, P. 38–43.

11. Bahmani H., Mostofinejad D., Dadvar S. A. Fiber type and curing environment effects on the mechanical performance of UHPFRC containing zeolite. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2022, Vol. 46, P. 4151–4167.

12. Babych V., Dovbenko V., Kuzmych L., Dovbenko T. Estimation of flexures of the reinforced concrete elements according to the National Ukrainian & European standards. *MATEC Web of Conferences*. 2017, Vol. 116, Art. 02005.

13. Job S. Recycling composites commercially. *Reinforced Plastics*. 2014, Vol. 58, No. 5, P. 32–38.

14. Feng Y., Su Y., Lu N., Shah S. Meta concrete: exploring novel functionality of concrete using nanotechnology. *Engineered Science*. 2020. DOI 10.30919/es8d816.

15. Tran N. P., Nguyen T. N., Ngo T. D. The role of organic polymer modifiers in cementitious systems towards durable and resilient infrastructures: a systematic review. *Construction and Building Materials*. 2022, Vol. 360, Art. 129562. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.129562.

16. Mayhoub O. A., Abadel A. A., Alharbi Y. R. [et al.]. Effect of polymers on behavior of ultra-high-strength concrete. *Polymers*. 2022, Vol. 14, No. 13. DOI 10.3390/POLYM14132585.

17. Karpenko N. I., Karpenko S. N., Yarmakovskiy V. N., Erofeev V. T. O sovremennykh metodakh obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktsiy [On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures]. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo* [Academia. Architecture and Construction]. 2015, № 1, P. 93–102.

18. Yasniy P., Homon S., Iasnii V. [et al.]. Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*. 2022, Vol. 36, P. 211–216.

19. Van Gemert D., Czarnecki L., Maultzsch M. [et al.]. Cement concrete and concrete–polymer composites: two merging worlds: a report from 11th ICPIG Congress in Berlin, 2004. *Cement and Concrete Composites*. 2005, Vol. 27, P. 926–933. DOI 10.1016/j.cemconcomp.2005.05.004.

20. Maiti S., Islam M. R., Uddin M. A. [et al.]. Sustainable fiber-reinforced composites: a review. *Advanced Sustainable Systems*. 2022, Vol. 6, Art. 2200258. DOI 10.1002/ADSU.202200258.

21. Zhang X., Du M., Fang H. [et al.]. Polymer-modified cement mortars: their enhanced properties, applications, prospects, and challenges. *Construction and Building Materials*. 2021, Vol. 299, Art. 124290. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2021.124290.

22. Idrees M., Akbar A., Saeed F. [et al.]. Improvement in durability and mechanical performance of concrete exposed to aggressive environments by using polymer. *Materials*. 2022, Vol. 15. DOI 10.3390/MA15113751.

23. Erofeev V. T., Bogatov A. D., Kondakova I. E. [et al.]. Epoxy composites modified with coal tar. *Nanotechnologies in Construction*. 2024, No. 16 (6), P. 533–548.

24. Ilyina V., Strokova V., Erofeev V., Stepina I. Photo-reactive acrylic-alkyd composition with biocide additive for wood protection coating development. *Architecture and Engineering Journal*. 2024, Vol. 9, No. 3, P. 53–62.



25. Sharafutdinov K., Saraikina K., Kashevarova G. [et al.]. Strength and durability of concrete with superabsorbent polymer admixture. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2023, Vol. 19, No. 2, P. 120–135.
26. Rodin A., Ermakov A., Erofeeva I., Erofeev V. Effect of Chlorides Content on the Structure and Properties of Porous Glass Ceramics Obtained from Siliceous Rock. *Materials*. 2022, Vol. 15, No. 9, Art. 3268.
27. Shafigullin L. N., Bobrishev A. A., Erofeev V. T. [et al.]. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015, Vol. 10, No. 23, P. 43758–43762.
28. Erofeev V., Rodin A., Rodina N. [et al.]. Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions. *Procedia Engineering*. 2016, Vol. 165, P. 1448–1454.
29. 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.
30. Shafigullin L. N., Treschev A. A., Telichko V. G., Erofeev V. T. Calculation of reinforced concrete shell of positive Gaussian curvature, given different resistance of concrete and cracking. *Astra Salvensis*. 2017, P. 77–91.
31. Travush V. I., Karpenko N. I., Erofeev V. T. [et al.]. Destruction of powder-activated concrete with fixation of destruction by a laser interferometer. *Magazine of Civil Engineering*. 2020, Vol. 95, No. 3, P. 42–48.
32. Abramova E., Elchishcheva T., Svetlov D. [et al.]. Revealing the Biostability of Cement Composites by the Method of Mathematical Statistics. *AIP Conference Proceedings*. 2023, Vol. 2612, Art. 040003.
33. Balatkhanova E., Erofeeva I., Afonin V. Regression assessment of the model based on the experimental planning matrix in composite materials' analysis problems. *E3S Web of Conferences*. 2021, Vol. 281, Art. 03015.
34. Erofeeva I. V., Afonin V. V., Emelyanov D. V. [et al.]. Study of the Behavior of Cement Composites in the Conditions of Cyclic Exposure Positive and Negative Temperatures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, Vol. 972, No. 1, Art. 012052.
35. Koryakina M. I. *Laboratory praktikum po ispytaniyu lakokrasochnykh materialov i pokrytiy* [Laboratory workshop on testing paints and coatings]. Moscow, Khimiya, 1989, 206 p. ISBN 5-7245-0251-8.
36. Kong L., Fang J., Zhou X. [et al.]. Assessment of coatings for protection of cement paste against microbial induced deterioration through image analysis. *Construction and Building Materials*. 2018, Vol. 191, P. 342–353.
37. Afonin V. V., Erofeeva I. V., Kondrashchenko V. I. [et al.]. Decision-making on quality composition materials exposed to temperature differences. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, Vol. 708, No. 1, Art. 012077.
38. Kulikov B. F., Bukanov V. V. *Slovar kamney-samotsvetov* [Dictionary of gemstones]. 2-e izd., pererab. i dop. Leningrad, Nedra, Leningr. otd-nie, 1988, 167, [1] p. ISBN 5-247-00076-5.
39. AN SSSR, Mineralogicheskiy muzey im. A. E. Fersmana. *Novye dannye o mineralakh* [New data on minerals] : sbornik statey. Moscow, Nauka, 1986, Iss. 33, 167 p.
40. Tashkinov A. G. *Prirodny kamen i keramika v arkhitekture* [Natural stone and ceramics in architecture]: uchebno-metodicheskoe posobie. Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus, Belorusskiy gosudarstvenny universitet transporta. Gomel, BelGUT, 2010, 116 p.
41. Stenechkina K. S. *Primenenie dekorativnykh betonov dlya otdelki zdaniy i sooruzheniy* [Application of decorative concretes for finishing buildings and structures]. *Inzhenerny vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 2023, No. 3, P. 418–428.



42. Deborah T. J., Gitika K., Aarti C., Shalini B. B. Computer Vision for Color Detection. International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology. 2021, Vol. 9, No. 3, P. 54–58.

43. Elchishcheva T., Afonin V., Erofeeva I. [et al.]. Biostability of Plastering Systems in Buildings and Structures. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021, Vol. 150, P. 379–390.

44. Svetlov D. A., Erofeeva I. V., Dolganov A. V. Novoe pokolenie biostoykikh kompozitsionnykh materialov na osnove guanidinovykh soedineniy s mekhanizmom deystviya na nanorazmernom urovne [A new generation of biostable composite materials based on guanidine compounds with a nanoscale mechanism of action]. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology]. 2020, Vol. 387, № 3, P. 44–51.

© В. В. Афонин, Н. В. Черушова, Аль Дулайми Салман Давуд Салман, М. М. Зоткина, И. В. Сергеева, А. Г. Соколова, А. В. Бурыкина, К. А. Черушов, А. А. Мартынов, Н. А. Полежаев, 2026

Получено: 29.07.2026 г.